

المملكة العربية السعودية
جامعة أم القرى
كلية التربية - قسم الفيزياء

دراسات على الترمومتر البلاتيني

اعداد الطالب
ياسر عبدالله شاووش

بإشراف
د. زكريا الحاج علي

١٤٠٢ - ١٤٠٣ هـ



٥٨ -

بسم الله الرحمن الرحيم

" كلمة شكر "

الكل من ساهم وساعد في إعداد هذا البحث من
أعضاء هيئة تدريس وضييعة وإداريين وأخص
بالشكر استاذي الدكتور / زكريا الحاج على الذي لم
يدخر جهدا في إظهار هذا البحث بهذه الصورة
سائلا المولى التوفيق والسداد .

المحتويات

صفحة		
١	.....	الغرض من حلقة البحث
		مقاييس درجة الحرارة
٢	.....	١-١ مقياس درجة الحرارة
٢	.....	٢-١ المقياس المطلق لدرجة الحرارة
٤		٣-١ المقياس العملى الدولى لدرجات الحرارة
		الترموتر البلاتينى العيارى
٩	.....	١-٢ معايرة الترمومتر البلاتينى
١٠	.....	٢-٢ مقياس الترمومتر البلاتينى
١١		٣-٢ تعيين درجة الحرارة بالترموتر البلاتينى
١٣	.....	٤-٢ وصف الترمومتر البلاتينى
١٦	.....	٥-٢ طرق قياس المقاومة
١٩		٦-٢ الترمومترات البلاتينية للأغراض الصناعية
		أجهزة تحقيق بعض النقط الثابتة
٢٠	.....	١-٣ النقطة الثلاثية للماء
٢١	.....	٢-٣ نقطة تجمد الجليد
٢٢		٣-٣ نقطة غليان الماء ونقطة غليان الكبريت
		دراسة عملية على ترمومتر بلاتينى
٢٥		١-٤ تعيين مقاومة الترمومتر عند نقطة تجمد الجليد
٤٦		٢-٤ تعيين مقاومة الترمومتر عند نقطة غليان الماء
٧٣	.....	٣-٤ تحليل النتائج
٧٤	.....	٤-٤ ملاحظات عامة
٧٦	.....	المراجع الأجنبية
٧٨	.....	المراجع العربية

الغرض من حلقة البحث:

تهدف هذه الحلقة الى تقديم عرض موجز
عن الترمومتر البلاستيكي ودراسة بعض خصائصه
سعيًا لاكتساب مهارات في القياسات الدقيقة
وتحقيق بعض النقاط المعيارية طبقًا للمواصفات
الحديثة .

١ - ١ مقاييس درجة الحرارة :

من المعلوم انه لا يحد من وضع مقاييس لقياس أى مقدار فيزيائى وعلى سبيل المثال اذا أردنا قياس طول معين فالتنا نستخدم مقاييسا مقسما الى اجزاء متساوية كالمتري المقسم الى ملليمترات وبالمثل فالتنا نحتاج الى مقاييس لقياس درجة الحرارة ولكن لا يكون الأمر سهلا لوضع درجات لدرجات الحرارة كما هو الحال بالنسبة لدرجات مقاييس الطول .

لواخترنا مقاييس سلزيوس²⁾ Celsius Scale (المقياس المئوى) لدرجات الحرارة وحددنا الصفر لدرجة حرارة تجمد الجليد (انصهار الجليد) و ١٠٠ درجة سلزيوس لنقطة غليان الماء تحت ضغط جوى عيارى فكيف يمكننا وضع درجات بين وخارج مدى هاتين الدرجتين للحرارة ؟ والمقياس المألوف لتنا هو التدرجات للترموتر الزئبقي حيث أن التدرجات المتتالمة على الساق تشير فى الحالات المتتالمة الى احجام متساوية من الزئبقي ولكن لا يوجد تبرير نظرى لمعادلة هذه الاحجام المتساوية بتدرجات متساوية لدرجات الحرارة . بل من المشاهد أن ترمومتريين مصنوعين من زجاج مختلف يتفقان فى القراءة عند صفر سلزيوس و ١٠٠ درجة سلزيوس ولكنهما لا يتفقان بالضرورة فى القراءات عند درجات الحرارة الاخرى . فالتعدد النسبى بين الزئبقي والزجاج لا يتناسب طرديا مع درجة الحرارة ولكن شكل المنحنى يختلف باختلاف نوع الزجاج المستعمل لصنع الترمومتر الزئبقي .

٢ - ١ المقياس المطلق لدرجة الحرارة :

اذا حصلنا على مول من غاز تطبق عليه العلاقة التالية تحت جميع

الظروف

$$PV = RT$$

حيث P الضغط، V الحجم، R ثابت الغاز، T درجة الحرارة على مقياس هذا الغاز المثالي، فيتم تعيين درجة الحرارة بمقياس الضغط عند ثبات الحجم أو مقياس الحجم عند ثبات الضغط. وبما أنه لا يوجد غاز مثالي فمن الممكن اجراء القياسات على غاز عادي مع الأخذ في الاعتبار الانحراف عن المثالية وحصل على درجة الحرارة التي تكون عندها P أو V مساوية للصفر ودرجة الحرارة هذه هي (-273.15 ± 0.01) درجة سليزيوس.

ومفهوم آخر لهذا المقياس المطلق هو مقياس الديناميكا الحرارية الذي ادخله كلفن Kelvin حيث عرف النسبة بين درجتى الحرارة التي تعمل بينهما آلة حرارية مثالية على دورة كارنو بأنها مساوية للنسبة بين مقدار الحرارة المتصدة Q_A ومقدار الحرارة المردودة Q_R أى أن :

$$\frac{T}{T_0} = \frac{Q_A}{Q_R}$$

حيث T هي درجة حرارة المستودع الذي يزود الآلة بالحرارة Q_A ، T_0 هي درجة حرارة المستودع الذي تلفظ فيه الحرارة Q_R وباختيار T_0 مساوية للنقطة الثلاثية للماء نحصل على

$$T = 273.16 \frac{Q_A}{Q_R}$$

ومقياس الديناميكا الحرارية أو مقياس كلفن مطابق لمقياس الغاز المثالي ومرتبطة بمقياس سليزيوس بالعلاقة التالية :

$$T = t + 273.15$$

حيث T هي درجة الحرارة على المقياس المطلق ووحدتها كلفن ويرمز لها بالرمز K و t درجة الحرارة على مقياس سليزيوس ووحدتها درجة سليزيوس ويرمز لها بالرمز $^{\circ}C$.

وبما يجدر ذكره انه في بادئ الامر لا يوجد اتفاق دولي على الرقم 273.15 حيث تستخدم بعض الاقطار كالولايات المتحدة الأمريكية الرقم 273 و 16

ولكن فى عام ١٩٥٤ حسم المكتب الدولى للمقاييس والأوزان الأمر باختيار الرقم ٢٧٣ و ١٥ بل حقيقة باختيار درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء ٢٧٣ و ١٦ ك وتزيد درجة حرارتها بمقدار ٠.٠١ °س على درجة انصهار الجليد . وبعد تثبيت النقطة الثلاثية للماء فان الترمومتر الغازى اظهر أن نقطة غليان الماء $(100 \pm 0.004)^\circ\text{C}$.
وهناك طرق اخرى متعددة لقياس درجة الحرارة على المقياس المطلق لعل اهمها الطريقة التى تستخدم الاشعاع الحرارى الصادر من الجسم الأسود لوضع مقياس لدرجات الحرارة المرتفعة .

٣-١ المقياس العملى الدولى لدرجات الحرارة :

The International Practical Scale of Temperature^{3,4,5)}

يستخدم مقياس كلفن للحسابات النظرية فى الفيزياء الحرارية على الرغم من ان دقة النقطة الأساسية لهذا المقياس لا تتعدى ١ فى ٢٧٠٠٠ الا أن ذلك يغنى الغرض لمثل تلك الحسابات النظرية .

ومن جهة أخرى فاننا نستطيع أن نحدد الفرق فى درجات الحرارة بين النقطة الثلاثية للماء ونقطة غليان الماء بدقة ١ فى ١٠٠ ٠٠٠ وعليه فانه فى الحالات التى يفضل فيها تكرار القيمة على الدقة المطلقة كما هو الحال بالنسبة للدراسات فى الارصادات الجوية على سبيل المثال فانه من المستحسن تعريف حجم الدرجة على أساس هذا الفرق وتطبق هذا المبدأ عند وضع المقياس العملى الدولى لدرجات الحرارة فى عام ١٩٢٧ بغرض ايجاد مقياس دقيق متكرر مطابقاً للمستطاع للمقياس المطلق الذى كان يعرف عندئذ بدلالة نقطة انصهار الجليد ونقطة غليان الماء .

والحاجة ماسة الى مثل هذا المقياس العملى حيث أن تحقيق
المقياس المطلق بواسطة الترمومتر الغازى يتطلب عتاء كبيراً فالترمومتر
الغازى غير ملائم وشديد التعقيد ولا تكرر قراءاته بالمستوى الجيد
كما هو الحال مع الترمومتر البلاتينى على سبيل المثال ولكن بالطبع
لا يمكن استخدام الترمومتر البلاتينى لتحقيق المقياس المطلق .

القياسات على المقياس العملى الدولى تكرر بصورة مرضية ويمكن
مقارنتها بالمقياس المطلق بفضل الجهود الكبيرة التى تبذلها
المعامل المتخصصة لتحديد العلاقة بين المقياسين بدقة عالية .
ومهما يكن نوع تلك العلاقة فمن الواضح أن كل الباحثين والمهتمين
بأمر قياس درجة الحرارة على المقياس العملى يعطون نفس الرقم
لدرجة حرارة معينة وإذا حدث تفاوت فإن ذلك يكون فى أضيق الحدود .

المقياس العملى الدولى يحدد عددا من النقاط العيارية أو الثابتة

Fixed points عادة نقاط التجمد Freezing points ونقط الغليان

boiling points وتعطى لهذه النقاط قيما مبنية على افضل النتائج التى

تم التوصل اليها بالترمومتر الغازى ثم يحدد الترمومترات المستخدمة

فى قياس درجات الحرارة على هذا المقياس وهى الترمومتر البلاتينى ،

الازدواج الحرارى والبيرومتر الضوئى وأخيراً يحدد المعادلات الرياضية

التي تستخدم فى حساب درجات الحرارة من قراءة هذه الترمومترات .

وعندما طور المقياس العملى الدولى فى عام ١٩٤٨ تم اعتماد النقاط

العيارية التالية ودرجات الحرارة المعطاة لها :

نقطة غليان الاكسجين -١٨٢و٩٢°س تحت ضغط جوى عيارى

النقطة الثلاثية للماء ٠.٠١°س

نقطة غليان الماء	١٠٠ °س	تحت ضغط جوى عيارى
نقطة غليان الكبريت	٤٤٤.٦ °س	" " " "
نقطة تجمد الفضة	٩٦٠.٨ °س	" " " "
نقطة تجمد الذهب	١٠٦٣ °س	" " " "

فى عام ١٩٦٠ صدرت توصيات ببعض التحسينات الفنية من بينها استخدام نقطة تجمد الخارصين Zinc freezing point عدد ٤١٩٥٠٥ °س كنقطة بديلة لنقطة غليان الكبريت وذلك لتكرار قيمتها بصورة أفضل .

وفى مدى درجات الحرارة المرتفعة تتسع الشقة بين دقة القياس على المقياس المطلق وتكرار القيمة فمثلا أن دقة قياس نقطة تجمد الذهب لا تتعدى ± 0.05 °س بينما تكرار هذه النقطة أفضل من ± 0.01 °س ، طبقا لترمومتر المقاومة .

فى عام ١٩٦٤ اعدت اللجنة الاستشارية المنبثقة من المكتب الدولى للمقاييس والأوزان رسما بيانيا^(٦) يوضح الفرق المحتمل بين المقياس المطلق والمقياس الدولى ويمكن استخلاص الجدول ادناه من ذلك الرسم البيانى علما بأن الأرقام بالجدول تعتبر مبدئية وخاضعة للتفحيح .

درجة الحرارة المطلقة	الفرق بين درجة الحرارة على المقياس المطلق ودرجة الحرارة على المقياس العملى الدولى (درجة)
١٨٣ -	٠.١ -
١٥٠ -	٠.٣ -
٨٠ -	٠.٣ +
صفر	صفر
٢٠٠ +	٠.٣ +
٤٠٠ +	٠.٧ +
٦٠٠ +	٠.١ +

٠.٩ +	٨٠٠ +
١.١ +	٩٦٠ +
١.٤ +	١٠٦٣ +

وظل الترمومتر البلاتيني العياري يستخدم لقياس درجة الحرارة فى المدى من ١٨٢.٩٧°س الى ٦٣٠.٥°س والازدواج الحرارى العياري المكون من سلكين احدهما من البلاتين والاخر شبكة من البلاتين و ١٠٪ زئبق من ٦٣٠.٥°س الى ١٠٦٣°س والبيرومتر الضوئى من ١٠٦٣°س الى

مالانهاية نظريا وذلك باستخدام قانون بلانك للاشعاع Planck's radiation law

حيث أن قيمة الثابت c_2 هى ٠.١٤٣٨ متر°س^{-١}.

وفى آخر تطور للمقياس العملى الدولى فى عام ١٩٦٨^(٧) أدخلت بعض التحسينات لعل من أبرزها اضافة نقط معايرة جديدة واعطاء قيم بعض النقاط الثابتة على مقياس كلفن وتوسيع مدى الترمومتر البلاتينى حتى النقطة الثلاثية للهيدروجين .

وأظهرت بعض الدراسات اللاحقة^(٨) امكانية توسيع مدى الترمومتر البلاتينى حتى ٥ ك على الرغم من أن حساسيته تقل كثيرا عند هذه الدرجات المنخفضة .

يوضح الجدول التالى نقط المعايرة فى المدى من ١٣ و ٨١ ك الى

١٥ و ٣٧٣ ك طبقا للمقياس العملى الدولى لعام ١٩٦٨ م .

درجة الحرارة بالكلفن	النقطة الثابتة
١٣و٨١	النقطة الثلاثية للهيدروجين
١٧و٠٤٢	نقطة غليان الهيدروجين تحت ضغط 33330.6 Pa
٢و٠٢٨	نقطة غليان الهيدروجين تحت ضغط 101325 Pa
٢٧و١٠٢	نقطة غليان النيون neon تحت ضغط 101325 Pa
٥٤و٣٦١	النقطة الثلاثية للأكسجين
٩و٠١٨٨	نقطة غليان الاكسجين تحت ضغط 101325 Pa
٢٧٣و١٦	النقطة الثلاثية للماء
٣٧٣و١٥	نقطة غليان الماء تحت ضغط 101325 Pa

ومن المعلوم أن المقياس العملى الدولى لايمتد الى درجات حرارة
تقل عن ١٣و٨١ ك ولكن توجد مقاييس متداولة اشهرها مقاييس ضغط
البخار المشبع ^{9,10} Saturated Vapour / Temperature Scales ^{Pressure} للهيليوم ^٤
و ^٤He و ^٣He فى مدى درجات الحرارة من ٢و٥ ك الى ٥و٠ ك
ومن ٣و٤ ك الى ٢و٠ ك على التوالي .

كما يستخدم ترمومتر مقاومة الجيرمنيوم Germanium Resistance Thermometer
من ٢٠ ك الى ٤ ك . وهناك جهود مبذولة لتطوير الترمومتر الصوتى
¹¹ Acoustical thermometer بهدف تحقيق المقياس المطلق .

الترمومتر البلاتيني العياري
The Standard Platinum Resistance Thermometer ¹⁾

١-٢ معايرة الترمومتر البلاتيني:

تصنع ترمومترات المقاومة عادة من البلاتين أو النيكل nickel إلا أنه يجب صنع الترمومتر من البلاتين النقي لقياس درجة الحرارة على المقياس العملي الدولي في المدى من ٨١ و ١٣ ك إلى نقطة تجمد الانتيمون (٦٣٠٥°س) .

تتغير مقاومة البلاتين في مدى درجات الحرارة من صفر سلفيوس إلى ١٠٦٣°س طبقا للمعادلة التالية :

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \dots\dots\dots (1)$$

حيث R_t هي المقاومة عند درجة الحرارة t ، R_0 المقاومة عند درجة الحرارة صفر سلفيوس و A , B ثابتان . وبعد معايرة الترمومتر عند النقطة الثلاثية للماء (٠.٠١°س) ونقطة غليان الكبريت (٤٤٤.٦°س) أو نقطة تجمد الخارصين "Zinc" (٤١٩.٥°س) ونقطة غليان الماء (١٠٠°س) أو نقطة تجمد القصدير . يمكن استخدام العلاقة (١) لتعيين درجة الحرارة من صفر سلفيوس إلى نقطة تجمد الذهب (١٠٦٣°س) بانحراف لا يتعدى درجتين عن المقياس المطلق ولكن بالنسبة للمقياس العملي الدولي يقتصر استخدام العلاقة (١) على مدى درجات الحرارة من صفر سلفيوس إلى ٦٣٠.٥°س وهي درجة تجمد الانتيمون حيث لا يتعدى الخطأ ٠.١ درجة على الأرجح . الجدير بالذكر أن نقطة تجمد الانتيمون لا تعتبر نقطة ثابتة أساسية ولكنها تمثل حلقة الوصل بين مقياس المقاومة ومقياس الازدواج الحراري .

أما بالنسبة لدرجات الحرارة من صفر سلفيوس الى نقطة غليان الاكسجين
(١٨٢و٩٧ س) فاستخدمت العلاقة التالية للمقياس العملى الدولى
عام ١٩٤٨ م :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3] \dots\dots\dots (2)$$

ولا يتعدى الخطأ فى هذه العلاقة ± 0.004 درجة ومعايرة الترمومتر
عد نقطة غليان الاكسجين نحصل على قيمة الثابت C .
أما فى المقياس الدولى لعام ١٩٦٨ ⁷⁾ فقد عدل عن استخدام هذه
العلاقة واستعوض عنها بأربع معادلات تصلح كل منها لمدى محدد
لدرجات الحرارة . المعادلة الأولى للمدى من ٩٠و١٨٨ ك الى
٢٧٣و٩٥ ك والثانية من ٥٤و٣٦١ ك الى ٩٠و١٨٨ ك والثالثة من ٢٠و٢٨ ك
الى ٥٤و٣٦١ ك والرابعة من ١٣و٨١ ك الى ٢٠و٢٨ ك .

٢-٢ مقياس الترمومتر البلاتيني:

يمكن كتابة المعادلة (١) بالصورة التالية التى اقترحها كالندر
Callendar وذلك تسهيلا للعمليات الحسابية :

$$t - t_{pt} = \delta . t (t-100)10^{-4} \dots\dots\dots (3)$$

حيث t_{pt} هى درجة الحرارة على المقياس البلاتينى ويمكن الحصول عليها
بافتراض علاقة طردية بين المقاومة ودرجة الحرارة أى أن :

$$t_{pt} = \frac{100(R_t - R_0)}{R_{100} - R_0} \dots\dots\dots (4)$$

حيث R_t هى المقاومة عند درجة الحرارة t ، R_0 المقاومة عند نقطة
انصهار الجليد (صفر سلفيوس) و R_{100} المقاومة عند نقطة غلياء الماء
(١٠٠ س) .

وفي حالة البلاتين النقي : $\delta \approx 1.492$ وتسمى δ معامل الفرق

$$\frac{R_{100}}{R_0} \approx 1.3926$$

كما يمكن كتابة المعادلة (2) بالصورة التالية :

$$t - t_{pt} = \delta \cdot t(t-100)10^{-4} + \beta \cdot t^3(t-100)10^{-8} \dots (5)$$

حيث قيمة الثابت β هي $\beta = 0.11$

علما بأن وجود الشوائب في سلك البلاتين أو التوترات الناشئة من عدم معالجة السلك معالجة حرارية تامة Imperfect annealing يؤدي إلى نقصان النسبة $\frac{R_{100}}{R_0}$ وزيادة قيمة δ . هذا وقد سمحت مواصفات المقياس الدولي في عام ١٩٦٠ باستخدام الترمومترات البلاتينية التي لا تقل فيها النسبة $\frac{R_{100}}{R_0}$ عن ١.٣٩٢٠ وبما أن كل الدلائل تشير إلى أن أدنى قيمة لهذه النسبة في حالة خلو البلاتين من الشوائب والتوترات هي نحو ١.٣٩٢٩ فقد رفع المكتب الدولي للمقاييس والأوزان الحد الأدنى المسموح به إلى $\frac{R_{100}}{R_0} = 1.39250$ في عام ١٩٦٨ م .

٢-٣ تعيين درجة الحرارة بالترموتر البلاتيني:

يتم تعيين درجة الحرارة بالترموتر البلاتيني على النحو التالي :

يعاير الترمومتر عند النقط الثابتة ولتكن على سبيل المثال :

$$R_0 = 25.76428 \Omega$$

$$R_{100} = 35.87576 \Omega$$

$$R_{444.6} = 68.4070 \Omega$$

$$R_{-182.7} = 6.2891 \Omega$$

ويتضح من هذا المثال أن :

$$\frac{R_{100}}{R_0} = 1.392461$$

$$R_{100} - R_0 = 10.11148 \Omega$$

ومن المعادلة (4)

$$t_{pt} = \frac{100(68.4070 - 25.76428)}{10.11148} = 421.726 \text{ } ^\circ P_t$$

ومن المعادلة (3)

$$444.600 - 421.726 = \delta (444.6)(344.6) 10^{-4}$$

نحصل على

$$\delta = 1.4930$$

ونفس الطريقة نجد أن :

$$-182.97 \text{ } ^\circ C = -192.605 \text{ } ^\circ P_t$$

ومن المعادلة (5) نحصل على :

$$\beta = 0.1099$$

ومعايرة الترمومتر استطعنا إيجاد قيمة الثوابت .

ولنفرض أن مقاومة الترمومتر عند درجة الحرارة t هي $R_t = 57.5624 \text{ } \Omega$

يتم تعيين t على مقياس سلزيوس باتباع الخطوات التالية :

نحسب t_{pt} بنفس الطريقة التي حصلنا بها على قيمة δ فنجد

$$t_{pt} = 314.457 \text{ } ^\circ P_t$$

ثم نرجع الى جداول¹²⁾ منشورة تحتوى على درجة الحرارة على مقياس سلزيوس

المقابلة الى t_{pt} محسوبة عادة على أساس أن $\delta = 1.5$ وباجراء تصحيح

مناسب يأخذ في الاعتبار اختلاف قيمة δ عن 1.5 نحصل على درجة

الحرارة بدقة تفي لمعظم الأغراض .

أما اذا رغبنا فى مستوى أعلى من الدقة فلا بد من اللجوء الى طريقة

التقريبات المتتالية . بالرجوع الى الجداول المشار اليها نجد أن

t_{pt}	$t - t_{pt}$
$300^\circ P_t$	9.8
320	11.5

وعليه فان :

$$314.457^{\circ}\text{P}_t \simeq 325.5^{\circ}\text{C}$$

وفي حالة عدم الاكتفاء بهذه الدقة نلجأ الى طريقة التقريبات المتتالية

كما ذكر من قبل وذلك بالتعويض في المعادلة رقم (3) :

$$t-314.57 = 1.4930(3.255)(2.255) = 10.959$$

$$t = 325.416^{\circ}\text{C}$$

ونحصل على

وباجراء تقريب ثان :

$$t-314.457 = 1.4930(3.25416)(2.25416) = 10.952$$

نحصل على

$$t = 325.409^{\circ}\text{C}$$

ونتيجة التقريب الثالث هي

$$t = 325.408^{\circ}\text{C}$$

والتقريب الرابع لا يحدث تغييرا في الكسر العشري الثالث وهكذا نحصل على

قيمة $t=325.408^{\circ}\text{C}$ بدقة عالية .

ولعله من الرغوب فيه اصدار جداول تحتوى على درجات الحرارة المقابلة الى

$$W(T) = \frac{R(T)}{R_0} \quad \text{لتخفيف العبء الحسابي .}$$

٤-٢ وصف الترمومتر البلاتينى :

الترمومتر البلاتينى كثير الاستعمال فى الأغراض العلمية التى تتطلب

دقة عالية فمن الضرورى أن يكون سلك المقاومة من البلاتين النقى وخال من

التوترات وإذا تحقق ذلك فان المقاومة عند نقطة انصهار الجليد تظل ثابتة

لعدة سنوات وإذا طرأ تغيير فى قيمتها بسبب تعرض الترمومتر الى اهتزازات كبيرة

فيمكن معالجة ذلك حراريا . وتصميم كالدرد للترمومتر البلاتينى الخالى

من التوترات موضح فى الشكل (١) . فهو يتكون من سلك رفيع من البلاتين

النقى ملفوف بحذر حول اطار من الميكا العازلة ويتصل طرفا السلك البلاتينى بملكين من البلاتين الغليظ ويوضع فى انبوبة من الخزف أو السليكا المنصهرة ويعزل سلكا التوصيل عن بعضهما بمرورهما خلال ثقب فى أقراص من الميكا داخل الأنبوبة ولتلافى مقاومة سلكى التوصيل يوجد داخل الأنبوبة سلكان متشابهان متصلان مع بعضهما من اسفل ويسميان بأسلاك التعادل أو التعويض compensating leads .



شكل (١) : تصميم كالندر للترمومتر البلاتينى

وأجريت بعض التحسينات على تصميم الترمومتر لعل من أهمها الطريقة التى استحدثها باربر¹³ Barber والموضحة بالشكل (٢) . السلك البلاتينى ملفوف على لولب من الزجاج ويتصل طرفا السلك البلاتينى بأربع أسلاك من الذهب وتتصل أسلاك التوصيل بأربعة أطراف كهربية تتصل بعد ذلك بأسلاك نحاس لتوصيل الترمومتر بجهاز قياس المقاومة .

وطريقة باربر تؤمن عدم وجود توترات فى سلك المقاومة البلاتينى بالإضافة الى انها تزيل أى آثار للرطوبة وذلك بتفريغ الجهاز وتعرير هواء ناشف بصورة متعاقبة ومتكررة وأهمية



شكل (٢) : تصميم باربر للترمومتر البلاتينى

ذلك هو عدم اضعاف العازل للسلك بواسطة تكثيف الرطوبة عليه خاصة عندما يراد استخدام الترمومتر لقياس درجات الحرارة المنخفضة .

ومضى التصميمات الحديثة للترمومتر البلاتينى عنى بأمر تحسين التبادل الحرارى بين المقاومة والوسط المحيط بها بهدف تقليل ثابت التأخير¹⁴⁾ Lag constant والحد من التأثيرات الناجمة عن تسخين الترمومتر بواسطة التيار الذى يسرى فيه وعمق انغماس الترمومتر . هذا ويمكن التخلص من تأثير تسخين التيار للترمومتر بقياس المقاومة عند امرار تيارات مختلفة ثم رسم شكل بهانى بين المقاومة ومربع التيار ومد المنحنى الى تيار قيمته صفر .

وتوجد تصميمات خاصة للترمومترات البلاتينية التى تستخدم عند درجات حرارة مرتفعة جدا أو منخفضة جدا . والنسبة لدرجات الحرارة المرتفعة جدا فلا بد من الأخذ فى الاعتبار تبخر البلاتين والتعرب الكهربى Electrical leakage عبر متركبات سلك البلاتين ويمكن تقليل أثرهما

باستخدام سلك غليظ نسبيا ولكن تكون عددًا مقاومة الترمومتر صغيرة • وقد درجات حرارة تقل عن ١٠٠٠°س يتم العزل بالكوارتز quartz أما اذا زادت درجة الحرارة عن ١٠٠٠°س فيفضل العزل بالألومينا^{15,16} Alumina لأن الكوارتز ربما يؤدي إلى تلوث البلاتين • وفيما يتعلق بدرجات الحرارة المنخفضة جدا فالعقبة الرئيسية هي التوصيل الحراري عبر اسلاك توصيل الترمومتر حيث أنه من المعلوم أن السعة الحرارية صغيرة ومعامل التوصيل كبير ويمكن التغلب على هذه العقبة بوضع المقاومة في كبسولة صغيرة من الزجاج أو البلاتين واستخدام اسلاك توصيل نحاسية رفيعة ومعزولة جيدا¹⁷⁾ • الجدير بالذكر أن نقاء البلاتين يصبح من الأهمية بمكان عند درجات الحرارة المنخفضة جدا نسبة لصغر المقاومة وعليه يجب أن لا تقل النسبة $\frac{R_{100}}{R_0}$ عن ١.٣٩٢٥٠ •

٢-٥ طرق قياس المقاومة :

مقاومة الترمومترات البلاتينية التي تستخدم في الأغراض العلمية

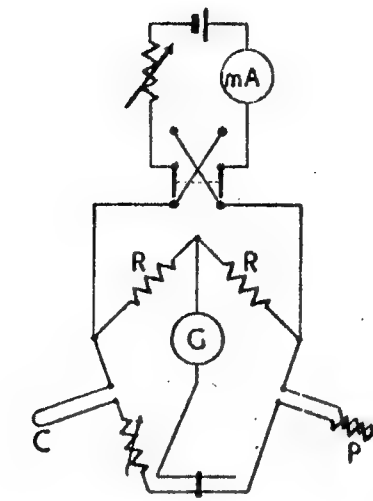
تكون عادة في حدود ٢٥ أمم عند نقطة انصهار الجليد (٢٧٣ و ١٥ ك) وللحصول على درجة الحرارة بدقة في حدود ± 0.01 °س عند نقطة انصهار الجليد فان ذلك يتطلب قياس المقاومة بدقة تصل إلى أجزاء من المليون • والأمر كذلك فلا بد من إيجاد وسيلة مناسبة لقياس مقاومة سلك البلاتين بدون مقاومة اسلاك التوصيل ومقاومة التلامس

contact resistance

وبإدخال فكرة اسلاك التعادل أو التعويض compensating leads

وتعديّل قنطرة هويستون كما هو في الشكل (٣) والذي يعرف بقنطرة كالندر جريفث Callender-Griffiths bridge تمكن كالندر من قياس مقاومة

الترمومتر دون أن يقيس مقاومة التوصيل دون أن تتأثر نتائجه بالقوى الدافعة الكهربائية حرارية .



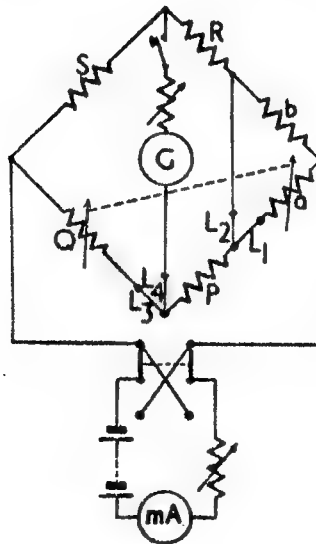
شكل (٣) : قنطرة كالندر - جريفث

وأبرز تطوير وتحسين قنطرة كالندر - جريفث عدة أنواع من القنطرات من

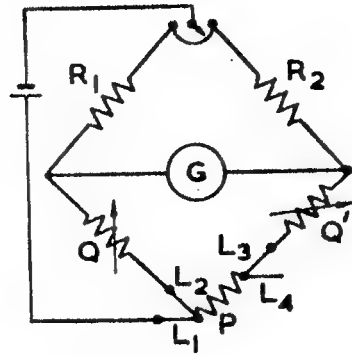
بينها قنطرة سميث (النوع الثالث) ¹⁸⁾ Smith bridge, type III

الموضحة في الشكل (٤) وقنطرة ميلر ¹⁹⁾ Mueller bridge المبينة فـ

الشكل (٥) وقنطرات حديثة ²⁰⁾ تستخدم التيار المتردد .

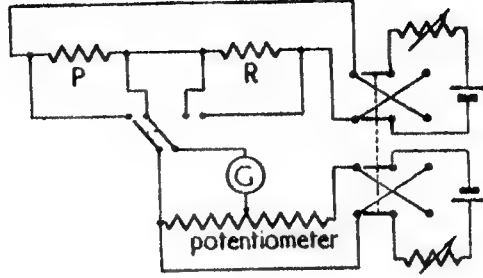


شكل (٤) : قنطرة سميث



شكل (٥) : قنطرة ميلر

ورغبة في التخلص نهائيا من أثر مقاومة اسلاك التوصيل ومقاومة التلامس والوصول الى مستوى عال من الدقة لقياس مقاومة سلك البلاتين فان الترمومتر يزود بتوصيلات منفصلة للتيار والجهد وتصل مقاومة الترمومتر P على التوالي مع مقاومة عيارية R تقارب قيمتها P ثم يقارن فرق الجهد بين طرفي كل منهما بواسطة مقياس فرق الجهد Potentiometer كما هو مبين بالشكل (٦) . وطادة تتم المقارنة بين فرقى الجهد قبل وبعد عكس اتجاه التيار الذى يسرى فى الترمومتر لتفادى القوى الدافعة الكهروحرارية العشوائية . وفى الحقيقة ان تفادى هذه القوى الدافعة ليس بالأمر السهل خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة حيث لا تكون هذه القوى الدافعة ثابتة القيمة .



شكل (٦) : قياس المقاومة بواسطة مقياس فرق الجهد

٦-٢ الترمومترات البلاطينية للأغراض الصناعية :

لا تستخدم الترمومترات البلاطينية المعدة لتحقيق المقياس العملي الدولي للأغراض الصناعية بسبب قابليتها للكسر وعدم الحاجة لدقتها المتناهية . وفي الحالات التي لا يفي الازدواج الحراري بالدقة المطلوبة فيمكن اللجوء إلى الترمومتر البلاطيني البسيط وهو يتكون من ملك بلاطيني ملفوف حول إطار من الألمنيوم أو السيراميك Ceramic former ومتصل طرفا الملك بقنطرة كالنادر جريفث . وتكون مقاومة الملك عالية نسبيا (حوالي ١٠٠ أم غند صفر سلزيوس) وذلك للحد من أثر تغيير مقاومة اسلاك التوصيل على دقة القياس المرغوب فيها .

أجهزة تحقيق بعض النقط الثابتة

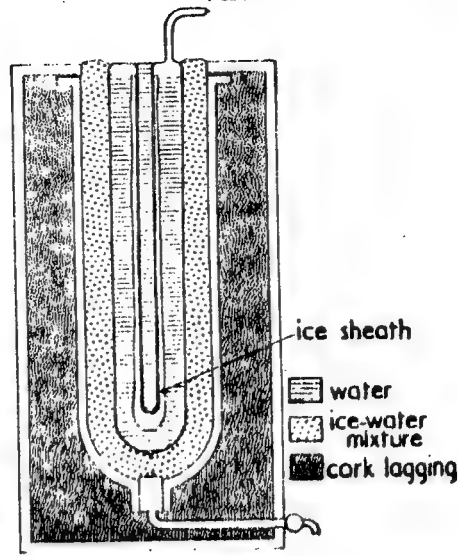
١-٣ النقطة الثلاثية للماء

النقطة الثلاثية للماء هي نقطة الاتزان بين الماء في صورته الثلاث : البخار والماء والجليد وتزيد درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء عن درجة حرارة انصهار الجليد بمقدار 0.01°C لسببين أولهما أن الضغط على الصور الثلاثية يساوي 6 و 4 ملليمتر زئبق بدلا من 760 مم زئبق في حالة نقطة انصهار الجليد وثانيهما أن الماء المستخدم لتحقيق النقطة الثلاثية للماء خال تماما من الغازات المذابة dissolved gases فالفرق في الضغط $(760 - 6.4 = 753.6$ مم زئبق) يقلل نقطة تجمد (انصهار) الجليد بأكثر من 0.007°C ووجود الغازات المذابة يقللها بأكثر من 0.002°C و 0.001°C ومحصلة هذين العاملين تؤدي إلى فرق في درجة الحرارة بين النقطة الثلاثية للماء ونقطة تجمد الجليد مقداره $(0.007^{\circ}\text{C} + 0.002^{\circ}\text{C}) = 0.009^{\circ}\text{C}$ النقطة الثلاثية للماء تتكرر بصورة أفضل من نقطة تجمد الجليد ولذا فقد اتخذت كنقطة أساسية على كل من مقياس سلزيوس والمقياس المطلق بدلا من نقطة تجمد الجليد .

رسم المكتب الوطني للمعايير (N.B.S.) National Bureau of Standards

الجهاز الموضح بالشكل (٧) لتحقيق النقطة الثلاثية للماء . فالخلية Cell المصنوعة من الزجاج القوي تنظف جيدا وتملأ بالماء المقطر وتخلق بعد تفريغها من الهواء .

وعندما يراد استخدام الجهاز لتحقيق النقطة الثلاثية للماء تغمر الخلية في الجليد لعدة ساعات حتى تقترب درجة حرارتها من الصفر سلزيوس ثم تبرد بثاني أكسيد الكربون المتجمد حتى تتكون طبقة من الجليد



شكل (٧) : جهاز تحقيق النقطة الثلاثية للماء

سمكها بضع ملليمترات ويزال ثانى اكسيد الكربون وتملاً انبوية الترمومتر بماء فى درجة حرارة الغرفة وعندما تتكون طبقة خفيفة من الماء بين الانبوية وطبقة الجليد توضع الخلية فى الجليد ويستبدل الماء فى انبوية الترمومتر بماء فى درجة الصفر وتترك الخلية فى الجليد لمدة يوم أو نحو ذلك وتكون الخليصة عندئذ جاهزة لتحقيق النقطة الثلاثية للماء .

٢-٣ نقطة تجمد الجليد

نقطة تجمد (انصهار) الجليد هى درجة حرارة الاتزان بين الماء فى الصورة الصلبة والصورة السائلة تحت ضغط زئبقى ٧٦٠ ملليمتر . وتستخدم نقطة تجمد الجليد كنقطة ثابتة عند معايرة ترمومترات المقاومة والترمومترات الزئبقية والازدواج الحرارى وغيرها . والجهاز الذى يستخدم عادة لتحقيقها عبارة عن اناء زجاجى معزول حرارياً ويتصل بانبوية زجاجية بها صمام للتخلص من الماء الناتج من ذوبان الجليد .

very fine
shavings

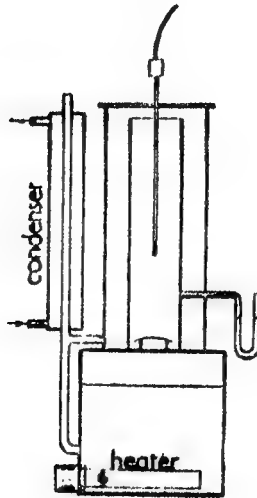
ويجروش الجليد جيداً حتى يصبح فى شكل حبيبات دقيقة

ويوضع فى الاناء الزجاجى ويضاف اليه ماء مقطر ويحرك الخليط جيداً بمحرك خشبى ثم يضغط ويفتح الصمام للتخلص الماء حتى يبدو لون الخليط ابيضاً . وهذه الطريقة تؤمن تكرار نقطة تجمد الجليد فى حدود ± 0.001 و 0.001 م° .

٣-٣ نقطة غليان الماء ونقطة غليان الكبريت

نقطة غليان الماء هى درجة حرارة الاتزان بين الماء فى صورة السائلة والغازية تحت ضغط ٧٦٠ ملليمتر زئبق والجهاز التقليدى الذى يستخدم لتحقيق نقطة غليان الماء موضح فى الشكل (٨) ويعرف بالهيسومتر ^{hypsoneter} أى مقياس الارتفاع حيث كان الجهاز يستخدم فى الاصل لتحديد الارتفاع بقياس التغيرات فى نقطة غليان الماء نتيجة انخفاض الضغط .

وعند غليان الماء يتصاعد البخار حول انبوبة الترمومتر ثم يخرج عبر الانبوبة الخارجية الى المكثف ويرجع مرة اخرى الى الغلاية فى شكل قطرات . والجهاز مزود بمانومتر مائى water manometer لقياس فرق الضغط بين ضغط البخار داخل الجهاز والضغط الجوى الذى يقاس بالبارومتر . كما يحتوى الجهاز على مصيدة للاشعاع وقطرات الماء التريما تقذف من الغلاية .



شكل (٨) ، جهاز تحقيق نقطة غليان الماء (Hypsometer)

وتحسب درجة غليان الماء t_p عند الضغط P من المعادلة التالية :

$$t_p = 100 + \frac{64.500 \log_{10}(P/P_o)}{1 - 0.1979 \log_{10}(P/P_o)}$$

حيث P_o هي الضغط العياري

$$P_o = h_o \rho_o g_o = 0.76 \times 13.5951 \times 10^3 \times 9.80655 \\ = 1.013250 \times 10^5 \text{ Pa}$$

حيث h_o تمثل طول عمود الزئبق عند درجة الحرارة صفو سليزيوس
($h_o = 0.76 \text{ m}$)

و ρ_o هي كثافة الزئبق عند درجة الحرارة صفو سليزيوس $\rho_o = 1.35951 \times 10^4 \text{ kg m}^{-3}$

و g_o هي عجلة الجاذبية الأرضية العيارية Standard gravity

$$g_o = 9.80655 \text{ m s}^{-2}$$

وعليه يجب تصحيح قراءة البارومتر للأخذ في الاعتبار درجة الحرارة والقيمة

المحلية لعجلة الجاذبية الأرضية .

والغرض من استعمال انبوبة داخلية وأخرى خارجية في جهاز تحقيق نقطة

غليان الماء هو للتأكد من عدم انخفاض درجة حرارة الترمومتر بالاشعاع السى

جدران الجهاز التى ربما تكون عند درجة حرارة أقل . ويمكن تحقيق نفس

الغرض باستعمال مصيدة للاشعاع حول الترمومتر وهذا هو الأفضل عندما

نرغب فى دقة عالية .

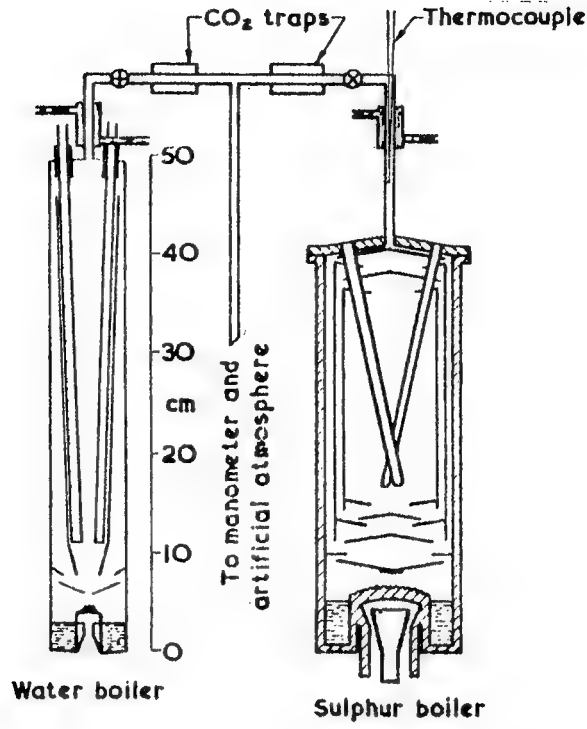
والشكل رقم (٩) يوضح جهاز تحقيق نقطة غليان الماء ونقطة غليان

الكبريت ⁽²¹⁾ والذي صممه المكتب الوطنى للمعايير - National Bureau of Standards

وتحقيق نقطة غليان الكبريت يتطلب تصميم مصاد متطورة للاشعاع

ومكتفات ذات كفاءة عالية .

وفى أجهزة تحقيق نقط الغليان يجب أن يصنع الجهاز من مواد لا تتفاعل



شكل (٩) : جهاز تحقيق نقطة غليان الماء ونقطة غليان الكبريت

مع السائل أو بخاره . فإذا صنع الجهاز من النحاس فيجب طلاؤه جيداً
بالقصدير Tin لاستعماله لتحقيق نقطة غليان الماء . أما جهاز تحقيق

Pure aluminium

نقطة غليان الكبريت فيصنع من الألمنيوم النقي

وفي جميع الأحوال يجب أن تكون الاجهزة مغلقة باحكام ولا تسمح بتسرب

الهواء air-tight

وتحسب درجة غليان الكبريت t_p عند الضغط P من المعادلة التالية :

$$t_p = 444.6 + \frac{158.92 \log_{10}(P/P_0)}{1 - 0.234 \log_{10}(P/P_0)}$$

دراسة عليّة على ترمومتر بلاتيني

٤-١ تعيين مقاومة الترمومتر عند نقطة تجمد الجليد

الترمومتر الذى أجريت عليه هذه الدراسة مقدم كهدية من الدكتور مارتن

دوريو بمعمل كامرلنج أونس، جامعة ليدن (هولندا)

Dr. M. Durieux, Kamerlingh Onnes Laboratorium,
Nieuwsteeg 18, Leiden (Holland).

والشركة المنتجة لهذه الترمومترات هي :

Sensing Devices Limited, Tithebam Road, Southport,
Merseyside, (England). Tel (0704)36162

رقم الترمومتر : SDL Ref 9779, Item H, Type PT100/1P
according to Din 43760.

وأوردت الشركة المنتجة خصائص هذا الترمومتر في جدولين :

الجدول (١) يوضح تغير مقاومة الترمومتر مع درجة الحرارة وحساسيته في المدى من ٢٢٠°س الى ٨٥٠°س والجدول (٢) يوضح الحدود المسموح بها لتغير قيمة المقاومة ولدقة قياس درجة الحرارة في المدى من ٢٢٠°س الى ٨٥٠°س.

مقياس فرق الجهد الذى استخدم هو

General purpose potentiometer type 3387E,

H. Tinsley & Co. Ltd., London SE 25 SLA, (England).

ودقة قياسه هي $\pm 10 \times 10^{-4}$ فولت في المدى من 10×10^{-3} فولت الى ١٩ فولت

و $\pm 10 \times 10^{-5}$ فولت في المدى من 10×10^{-4} فولت الى ١٩٠ فولت

و $\pm 10 \times 10^{-7}$ فولت في المدى من 10^{-5} فولت الى ١٩٠٠ فولت .

المقاومة المعيارية ١٠٠ أم عند درجة حرارة ٢٠°س ومواصفاتها :

Precision non-inductive standard resistor, grade I

a.c/d.c oil filled, type 1659, 100Ω , rated current

0.3A, max. resistance error $\pm 0.02 \%$, time constant =

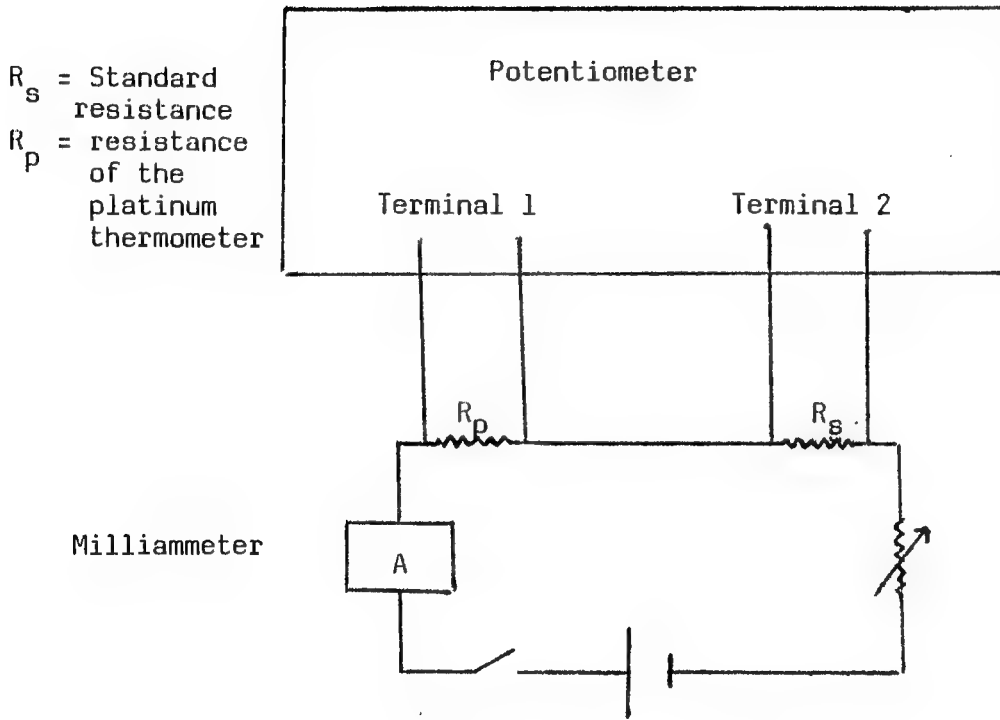
$\frac{L}{R} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$ at a frequency of 10^3 Hz , max.power

dissipation 10 W,

والشركة المنتجة لها :

H. Tinsley & Co. Ltd, London SE25 5LA, England

الدائرة الكهربائية التي استخدمت كما هو موضح بالشكل (١٠) حيث يتصل طرفا الترمومتر البلاتيني بالقطب ١ (Terminal 1) وطرفا المقاومة المعيارية بالقطب ٢ (Terminal 2)



شكل (١٠) : الدائرة الكهربائية لقياس مقاومة الترمومتر باستخدام
مقياس فرق الجهد

يغمس الترمومتر في جليد مجروش جيدا ومحضّر من ماء مقطر ومحفوظ في
وعاء ديوار Glass Dewar ويضغط الجليد ويضاف اليه ماء مقطر
ويحرك الخليط جيدا ثم يسحب الماء الى أن يبدو لون الجليد مائلا الى
البياض وتكرر عملية سحب الماء وإضافة الجليد المجروش كلما دعت الحاجة .
وبعد امرار تيار مناسب في الترمومتر (عادة في حدود ١٠ مللي أمبير الى ثلاثة

ملئ أمبير) ومضى فترة كافية للتأكد من حدوث الاتزان الحرارى بين الجليد والترمومتر، يعاير مقياس فرق الجهد أو يخفض التيار الذى يسرى فيه ثم يقاس فرق الجهد بين طرفى الترمومتر والمقاومة العيارية بالتتابع عدة مرات وتسجل قراءة ساعة الايقاف لحظة القياس بغرض مقارنة فروق الجهد فى نفس اللحظة . وترصد النتائج فى جداول كما تسجل قراءة البارومتر ودرجة حرارة الزئبق ودرجة حرارة المقاومة العيارية اثناء اجراء التجربة . وتكررت هذه العملية عدة مرات فى اليوم الواحد ولعدة أيام كما هو واضح من جدول (٣) الى جدول (١٧) . ولخصت النتائج لقيمة المقاومة عند نقطة انصهار الجليد فى جدول (١٨) .

وفى حالة معايرة مقياس فرق الجهد فان قراءاته تعطى فرق الجهد الحقيقى اما فى حالة تخفيض التيار الذى يسرى فى مقياس فرق الجهد فان القراءة لاتمثل فرق الجهد الحقيقى وانما تتناسب معه أى فرق الجهد الحقيقى يساوى قراءة مقياس فرق الجهد \times ثابت .

ولحساب الضغط الجوى من قراءة البارومتر ودرجة حرارة الزئبق استخدمت

$$g = 9.8 \text{ ms}^{-2} \quad \text{قيمة عجلة الجاذبية الأرضية بمكة المكرمة}$$

$$\beta = 1.82 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \text{معامل التمدد الحجمى للزئبق } \beta \text{ وكثافة الزئبق عند درجة}$$

$$\rho_0 = 1.35951 \times 10^4 \text{ kg m}^{-3} \quad \text{الحرارة صفر سلسيوس}$$

$$\alpha = 2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \text{معامل التمدد الطولى للنحاس الأصفر}$$

اما بالنسبة لحساب الضغط الجوى العيارى فاستخدمت قيمة طول عمود الزئبق

$$\text{Standard gravity} \quad \text{وعجلة الجاذبية الأرضية العيارية} \quad h_0 = 0.76 \text{ m}$$

$$g_0 = 9.80665 \text{ ms}^{-2}$$

وقيمة P_0 المشار اليها اعلاه .

Temperatur/Resistance Table

Platinum sensing element type PT 100/IP according to DIN 43760

°C	Ohm	Ohm/°C	°C	Ohm	Ohm/°C	°C	Ohm	Ohm/°C
220	10.41	0.395	+ 140	153.57	0.375	+ 500	280.93	0.332
210	14.36	0.417	150	157.32	0.373	510	284.25	0.332
200	18.53	0.425	160	161.05	0.371	520	287.57	0.330
190	22.78	0.427	170	164.76	0.371	530	290.87	0.329
180	27.05	0.423	180	168.47	0.369	540	294.16	0.327
170	31.28	0.420	190	172.16	0.368	550	297.43	0.327
160	35.48	0.417	200	175.84	0.367	560	300.70	0.325
150	39.65	0.415	210	179.51	0.366	570	303.95	0.325
140	43.80	0.413	220	183.17	0.365	580	307.20	0.323
130	47.93	0.411	230	186.82	0.364	590	310.43	0.322
120	52.04	0.409	240	190.46	0.362	600	313.65	0.321
110	56.13	0.407	250	194.08	0.362	610	316.86	0.319
100	60.20	0.405	260	197.70	0.360	620	320.05	0.319
90	64.25	0.403	270	201.30	0.358	630	323.24	0.317
80	68.28	0.401	280	204.88	0.358	640	326.41	0.316
70	72.29	0.399	290	208.46	0.357	650	329.57	0.315
60	76.28	0.397	300	212.03	0.355	660	332.72	0.314
50	80.25	0.396	310	215.58	0.355	670	335.86	0.313
40	84.21	0.396	320	219.13	0.353	680	338.99	0.311
30	88.17	0.396	330	222.66	0.352	690	342.10	0.311
20	92.13	0.394	340	226.18	0.351	700	345.21	0.309
10	96.07	0.393	350	229.69	0.350	710	348.30	0.308
0	100.00	0.390	360	233.19	0.348	720	351.38	0.307
+ 10	103.90	0.389	370	236.67	0.348	730	354.45	0.306
20	107.79	0.388	380	240.15	0.346	740	357.51	0.304
30	111.67	0.387	390	243.61	0.345	750	360.55	0.304
40	115.54	0.386	400	247.06	0.344	760	363.59	0.302
50	119.40	0.384	410	250.50	0.343	770	366.61	0.301
60	123.24	0.383	420	253.93	0.341	780	369.62	0.300
70	127.07	0.382	430	257.34	0.341	790	372.62	0.299
80	130.89	0.381	440	260.75	0.339	800	375.61	0.298
90	134.70	0.380	450	264.14	0.338	810	378.59	0.296
100	138.50	0.378	460	267.52	0.337	820	381.55	0.295
110	142.28	0.378	470	270.89	0.336	830	384.50	0.295
120	146.06	0.376	480	274.25	0.335	840	387.45	0.293
130	149.82	0.375	490	277.60	0.333	850	390.38	

Table (1)

Tolerance according to Din 43760

Platinum sensing element type PT100/1P
according to Din 43760

°C	Ohm	°C	°C	Ohm	°C
-220	± 0.7	± 1.8	400	± 0.8	± 2.3
-200	± 0.5	± 1.2	500	± 1.0	+ 3.0
-100	± 0.3	± 0.7	600	± 1.2	± 3.7
0	± 0.1	± 0.3	700	± 1.4	± 4.5
100	± 0.2	± 0.5	750	± 1.5	± 4.85
200	± 0.4	± 1.1	800	± 1.6	± 5.4
300	± 0.6	± 1.7	850	± 1.6	± 5.8

Table (2)

- २. -

Date: 13th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 97008 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 22.8 °C

Terminal	Time		Measured μ d. x constant(volts)	Interpolated μ d.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	14	0.4970 ⁵		
2	0	40	0.4973 ⁵	0.4969 ⁹	99.92
1	1	20	0.4969	0.4972 ⁸	99.92
2	1	40	0.4972 ⁵	0.4968 ⁶	99.92
1	2	10	0.4968	0.4972	99.92
2	2	40	0.4971 ⁵	0.4967 ³	99.92
1	2	55	0.4967	0.4971 ³	99.91
2	3	30	0.4971	0.4966 ⁷	99.91
1	3	53	0.4966	0.4970 ⁸	99.90
2	4	20	0.4970 ⁵	0.4965 ⁵	99.90
1	4	50	0.4965	0.4970 ³	99.89
2	5	25	0.4970	0.4964 ⁷	99.89
1	5	55	0.4964 ⁵	0.4969 ⁸	99.89
2	6	25	0.4969 ⁵	0.4964 ²	99.89
1	7	00	0.4964	0.4969 ⁵	99.89
2	7	30	0.4969 ⁵		
Average					99.90

Table (3)

Date: 13th April

Ice-point

Atmospheric pressure during the series : 96992 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d.x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R ₀ (Ω)
	min	sec			
1	0	20	0.9886		
2	0	45	0.9894 ⁵	0.9883	99.88
1	1	10	0.9880	0.9892 ⁵	99.87
2	1	40	0.9890	0.9883 ⁶	99.96
1	2	35	0.9896	0.9902 ⁵	99.93
2	2	55	0.9907	0.9895	99.88
1	3	20	0.9893	0.9906 ¹	99.87
2	3	50	0.9905	0.9891 ⁸	99.87
1	4	10	0.9891	0.9904 ²	99.87
2	4	30	0.9902	0.9890 ³	99.87
1	4	55	0.9889 ⁵	0.9902 ⁹	99.86
2	5	30	0.9902	0.9888 ⁵	99.86
1	5	50	0.9888	0.9901 ⁴	99.86
2	6	20	0.9900	0.9887	99.86
1	7	05	0.9885 ⁵	0.9899 ⁹	99.85
2	7	35	0.9899 ⁵		
				Average	99.88

Table (4)

Date: 13th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96991 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	07	1.4840		
2	0	45	1.4865	1.4835 ⁵	99.80
1	1	15	1.4832	1.4873	99.72
2	2	15	1.4883	1.4840	99.71
1	3	00	1.4846	1.4881 ⁶	99.76
2	3	30	1.4879	1.4843 ²	99.76
1	4	00	1.4840 ⁵	1.4877 ⁸	99.75
2	4	20	1.4877	1.4839 ²	99.75
1	4	45	1.4837 ⁵	1.4875 ⁹	99.74
2	5	15	1.4874 ⁵	1.4835 ⁶	99.74
1	5	40	1.4834	1.4873 ⁵	99.73
2	6	05	1.4872 ⁵	1.4832 ²	99.73
1	6	35	1.4830	1.4871 ³	99.72
2	6	55	1.4870 ⁵	1.4828 ⁷	99.72
1	7	15	1.4827 ⁵	1.4870 ¹	99.71
2	7	43	2.4869 ⁵		
Average					99.74

Table (5)

Date: 13th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series : 96949 Pa

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 23.4 °C

Potentiometer was uncalibrated

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	07	0.4974		
2	0	27	0.4977 ⁵	0.4974 ⁴	99.93
1	0	55	0.4975	0.4977 ⁸	99.94
2	1	17	0.4978	0.4975	99.94
1	1	35	0.4975	0.4978 ²	99.93
2	1	55	0.4978 ⁵	0.4975 ²	99.93
1	2	25	0.4975 ⁵	0.4978 ⁸	99.93
2	2	50	0.4979	0.4975 ⁸	99.94
1	3	07	0.4976	0.4979	99.94
2	3	40	0.4979	0.4976	99.94
1	4	00	0.4976	0.4979	99.94
2	4	25	0.4979	0.4976	99.94
1	4	45	0.4976	0.4979	99.94
2	5	20	0.4979	0.4976 ³	99.95
1	5	38	0.4976 ⁵	0.4979 ²	99.95
2	6	00	0.4979 ⁵		
Average					99.94

Table (6)

Date: 13th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96962 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_0
	min	sec			(Ω)
1	0	10	0.9901		
2	0	40	0.9903	0.9900 ⁴	99.97
1	0	56	0.9900	0.9902 ³	99.97
2	1	15	0.9901 ⁵	0.9899 ⁴	99.98
1	1	30	0.9899	0.9901 ²	99.98
2	2	05	0.9900 ⁵	0.9898	99.97
1	2	23	0.9897 ⁵	0.9900 ²	99.97
2	2	40	0.9900	0.9897	99.97
1	3	00	0.9896 ⁵	0.9899 ⁸	99.97
2	3	25	0.9899 ⁵	0.9896 ²	99.97
1	3	45	0.9896	0.9899 ²	99.97
2	4	05	0.9899	0.9895 ⁵	99.96
1	4	26	0.9895	0.9898 ³	99.97
2	4	52	0.9897 ⁵	0.9894 ⁷	99.97
1	5	15	0.9894 ⁵	0.9897 ³	99.97
2	5	40	0.9897		
Average					99.97

Table (7)

Date: 13th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96976 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	10	1.4861 ⁵		
2	0	35	1.4861	1.4858 ⁷	99.98
1	1	00	1.4856	1.4858 ²	99.99
2	1	15	1.4856 ⁵	1.4855	99.99
1	1	40	1.4853	1.4855 ³	99.98
2	1	56	1.4854 ⁵	1.4851 ⁸	99.98
1	2	20	1.4850	1.4853 ¹	99.98
2	2	38	1.4852	1.4849 ⁵	99.98
1	2	55	1.4849	1.4851	99.99
2	3	13	1.4850	1.4847 ⁶	99.98
1	3	35	1.4846	1.4849 ³	99.98
2	4	00	1.4848 ⁵	1.4844 ⁹	99.98
1	5	05	1.4842	1.4845 ²	99.98
2	5	30	1.4844	1.4840 ⁷	99.98
1	5	45	1.4840	1.4843 ⁴	99.98
2	6	10	1.4842 ⁵		
Average					99.98

Table (8)

Date: 20th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 97019 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	05	0.5183		
2	0	30	0.5176	0.5182	100.12
1	1	05	0.5180 ⁵	0.5174 ⁹	100.11
2	1	25	0.5174	0.5180	100.12
1	1	45	0.5179 ⁵	0.5173 ⁶	100.11
2	2	10	0.5173	0.5178 ⁸	100.11
1	2	36	0.5178	0.5172 ⁵	100.11
2	3	05	0.5172	0.5177 ⁷	100.11
1	3	30	0.5177 ⁵	0.5171 ⁵	100.12
2	3	55	0.5171	0.5177	100.12
1	4	18	0.5176 ⁵	0.5170 ⁸	100.11
2	4	45	0.5170 ⁵	0.5176 ²	100.11
1	5	05	0.5176	0.5170 ³	100.11
2	5	30	0.5170	0.5175 ⁷	100.11
1	5	43	0.5175 ⁵	0.5170	100.11
2	6	15	0.5170		
Average					100.11

Table (9)

Date: 20th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96969 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	10	1.0302		
2	0	38	1.0286	1.0299 ⁵	100.13
1	1	05	1.0297	1.0284	100.13
2	1	33	1.0282	1.0295 ⁵	100.13
1	2	00	1.0294	1.0280 ⁴	100.13
2	2	25	1.0279	1.0292 ⁴	100.13
1	2	55	1.0290 ⁵	1.0277 ⁴	100.13
2	3	20	1.0276	1.0289 ⁷	100.13
1	3	55	1.0288 ⁵	1.0296 ³	99.92
2	5	10	1.0305	1.0296 ⁵	99.92
1	5	50	1.0318	1.0304 ²	100.13
2	6	30	1.0303 ⁵	1.0316 ²	100.13
1	6	50	1.0316	1.0302 ⁷	100.13
2	7	18	1.0301 ⁵	1.0315 ¹	100.13
1	7	50	1.0314 ⁵	1.0300 ⁶	100.13
2	8	10	1.0300		
Average					100.13

Table (10)

Date: 20th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series : 96969 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time	Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
1	min sec			
1	0 13	1.5495		
2	0 40	1.5468 ⁵	1.5492 ⁴	100.15
1	1 05	1.5490	1.5466 ⁶	100.15
2	1 40	1.5464	1.5487 ⁴	100.15
1	2 05	1.5485 ⁵	1.5461 ⁸	100.15
2	2 25	1.5460	1.5484 ¹	100.16
1	2 48	1.5482 ⁵	1.5458 ⁶	100.15
2	3 15	1.5457	1.5481 ²	100.16
1	3 50	1.5479 ⁵	1.5455	100.16
2	4 25	1.5453	1.5477 ²	100.16
1	4 43	1.5476	1.5452	100.16
2	5 10	1.5450 ⁵	1.5474 ⁹	100.16
1	5 32	1.5474	1.5450	100.16
2	5 65	1.5449 ⁵	1.5478 ⁷	100.19
1	7 20	1.5495	1.5463 ⁹	100.19
2	7 50	1.5469		
Average				100.16

Table (11)

Date: 20th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96982 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	20	0.5189		
2	0	45	0.5182	0.5189 ⁹	100.15
1	1	04	0.5190 ⁵	0.5182 ⁵	100.15
2	1	25	0.5183	0.5191	100.15
1	1	48	0.5191 ⁵	0.5183 ⁸	100.15
2	2	10	0.5184 ⁵	0.5192	100.14
1	2	30	0.5192 ⁵	0.5182 ⁹	100.19
2	3	00	0.5180 ⁵	0.5190 ⁷	100.20
1	3	20	0.5189 ⁵	0.5180 ⁹	100.17
2	3	45	0.5181 ⁵	0.5189 ⁸	100.16
1	4	10	0.5190	0.5181 ⁸	100.16
2	4	25	0.5182	0.5190 ²	100.16
1	4	45	0.5190 ⁵	0.5182 ⁶	100.15
2	5	00	0.5183	0.5190 ⁷	100.15
1	5	25	0.5191	0.5183 ³	100.15
2	5	43	0.5183 ⁵		
Average					100.15

Table (12)

Date: 20th, April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96989 Pa

Potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	00	0.1002		
2	0	55	0.1000	0.1002	100.20
1	1	25	0.1002	0.1000	100.20
2	1	55	0.1000	0.1002	100.20
1	2	18	0.1002	0.1000	100.20
2	2	45	0.1000	0.1002	100.20
1	3	00	0.1002	0.1000	100.20
2	3	25	0.1000	0.1002	100.20
1	3	45	0.1002	0.1000	100.20
2	4	07	0.1000	0.1002	100.20
1	4	25	0.1002	0.1000	100.20
2	4	52	0.1000	0.1002	100.20
1	5	08	0.1002	0.1000	100.20
2	5	20	0.1000	0.1002	100.20
1	5	35	0.1002	0.1000	100.20
2	6	00	0.1000		
Average					100.20

Table (13)

Date: 27th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96975 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 23.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	25	0.5219 ⁵		
2	1	00	0.5214	0.5218 ⁹	100.09
1	1	20	0.5218 ⁵	0.5213 ⁵	100.10
2	1	40	0.5213	0.5218	100.10
1	2	00	0.5217 ⁵	0.5212 ³	100.10
2	2	20	0.5212 ⁵	0.5217 ¹	100.09
1	2	45	0.5216 ⁵	0.5211 ⁹	100.09
2	3	05	0.5211 ⁵	0.5216 ²	100.09
1	3	20	0.5216	0.5211 ³	100.09
2	3	42	0.5211	0.5215 ⁹	100.09
1	4	35	0.5215 ⁵	0.5210 ³	100.10
2	5	00	0.5210	0.5215 ⁵	100.11
1	5	13	0.5215 ⁵	0.5209 ⁸	100.11
2	5	30	0.5209 ⁵	0.5215	100.11
1	5	50	0.5214 ⁵	0.5209 ³	100.10
2	6	20	0.5209		
Average					100.10

Table (14)

Date: 27th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 97004 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance: 22.8 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	25	1.0361		
2	0	55	1.0350	1.0359 ⁷	100.09
1	1	22	1.0358 ⁵	1.0348	100.10
2	1	50	1.0346	1.0357	100.11
1	2	08	1.0356	1.0345 ⁴	100.11
2	2	35	1.0344 ⁵	1.0355 ¹	100.10
1	2	55	1.0354 ⁵	1.0343 ⁹	100.10
2	3	25	1.0343	1.0353 ³	100.10
1	3	45	1.0352 ⁵	1.0341 ⁹	100.10
2	4	00	1.0341	1.0352 ³	100.11
1	5	20	1.0351 ⁵	1.0340 ²	100.11
2	5	45	1.0340	1.0350 ⁶	100.10
1	6	00	1.0350	1.0339 ⁴	100.10
2	6	20	1.0338 ⁵	1.0349 ⁶	100.11
1	6	45	1.0349	1.0337 ⁷	100.11
2	7	05	1.0337		
Average					100.10

Table (15)

Date : 27th April, 1983 Ice-point
 Atmospheric pressure during the series: 96984 Pa
 Potentiometer was uncalibrated
 Thermometer current : 3 mA
 Temperature of the standard resistance : 22.8 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	05	1.6970 ⁵		
2	0	25	1.6949 ⁵	1.6968 ⁵	100.11
1	0	50	1.6966	1.6948 ¹	100.11
2	1	07	1.6945 ⁵	1.6964 ³	100.11
1	1	25	1.6962 ⁵	1.6943 ⁴	100.11
2	1	45	1.6941	1.6960 ⁸	100.12
1	2	05	1.6959	1.6939 ⁶	100.11
2	2	35	1.6937 ⁵	1.6956 ⁶	100.11
1	2	55	1.6955	1.6935 ⁹	100.11
2	3	20	1.6934	1.6952 ⁸	100.11
1	3	40	1.6951	1.6932 ³	100.11
2	3	55	1.6931	1.6950 ²	100.11
1	4	10	1.6949 ⁵	1.6930 ⁴	100.11
2	4	30	1.6929 ⁵	1.6948 ¹	100.11
1	4	45	1.6947	1.6927 ⁷	100.11
2	5	00	1.6926		
Average					100.11

Table (16)

Date: 27th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96951 Pa

Potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 22.8°C

Terminal	Time		Measured pd. (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	25	0.1001		
2	1	00	0.1000 ⁵	0.1001 ⁶	100.11
1	1	20	0.1002	0.1000 ⁹	100.11
2	1	50	0.1001 ⁵	0.1002	100.05
1	2	10	0.1002	0.1001 ⁵	100.05
2	2	30	0.1001 ⁵	0.1002 ²	100.07
1	3	00	0.1002 ⁵	0.1001 ⁵	100.10
2	3	30	0.1001 ⁵	0.1002 ⁵	100.10
1	4	00	0.1002 ⁵	0.1001 ⁸	100.07
2	4	25	0.1002	0.1002 ⁵	100.05
1	4	50	0.1002 ⁵	0.1002	100.05
2	5	10	0.1002	0.1002 ⁵	100.05
1	5	25	0.1002 ⁵	0.1002	100.05
2	5	50	0.1002	0.1002 ⁸	100.08
1	6	05	0.1003	0.1002	100.10
2	6	25	0.1002		
Average					100.08

Table (17)

Summary of results for resistance measurement at the ice-point

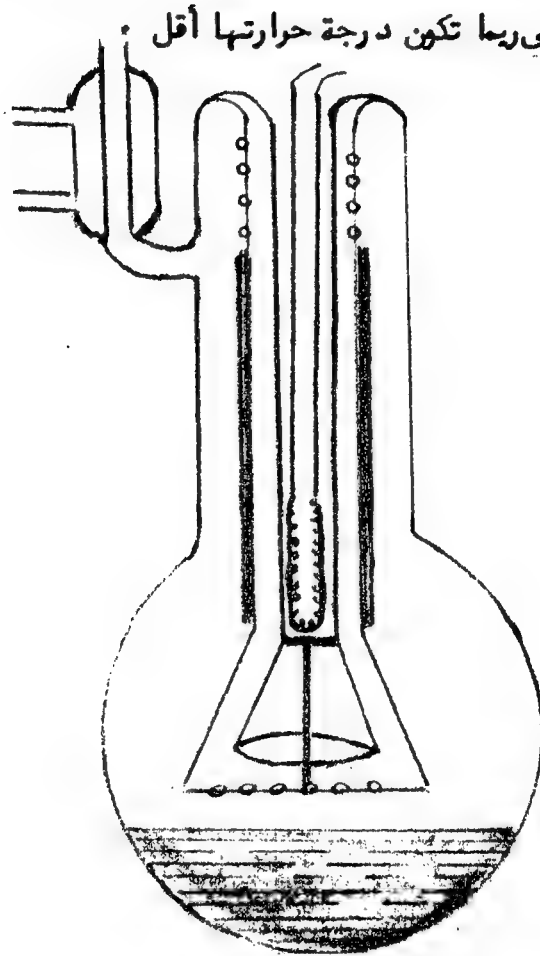
Date	Table No.	Average R_0 (Ω)
13-4-83	3	99.90
	4	99.88
	5	99.74
	6	99.94
	7	99.97
	8	99.98
20-4-83	9	100.11
	10	100.13
	11	100.16
	12	100.15
	13	100.20
27-4-83	14	100.10
	15	100.10
	16	100.11
	17	100.08
MEAN value of R_0		100.04

$$R_0 = \underline{100.04 \pm 0.10} \ \Omega$$

Table (18)

٤-٢ تعيين مقاومة الترمومتر عند نقطة غليان الماء

استخدم جهاز مبسط ذو كفاءة عالية لتحقيق نقطة غليان الماء قسام بتصميمه الاستاذ الدكتور محمد محمود عمار^(٢٢) فالجهاز كما هو موضح بالشكل (١١) مصنع من الزجاج ومزود بمكثف ومصيدة لقطرات الماء التي ربما تقذف تجاه الترمومتر ومصيدة للاشعاع حول الترمومتر مكونة من أنبوبة داخلية وخارجية بالإضافة الى القصدير الملفوف حول الأنبوبة الخارجية . وهذه المصيدة تؤمن عدم هبوط درجة حرارة الترمومتر بالاشعاع الى جدران الجهاز التي ربما تكون درجة حرارتها أقل .



شكل (١١) : جهاز تحقيق نقطة غليان الماء

يستخدم في الجهاز ماء مقطر ويسخن حتى يغلي ثم تخفض القدرة في فرن التسخين . ولا تبدأ القياسات الا بعد مضي فترة كافية لحدوث اتزان

حرارى بين الترمومتر والبخار وطررد الهواء بالجهاز تماما وتتبع نفس الطريقة التى تم بموجبها قياس مقاومة الترمومتر عند درجة تجمد الجليد الا أن قراءة البارومتر كانت تؤخذ فى فترات اكثر تقاربا (بعد كل عشر دقائق) . وفى قراءات أحد الايام قيس فرق الجهد بين طرفى المقاومة العيارية وطرفى الترمومتر قبل وبعد عكس اتجاه التيار فى الترمومتر لتفادى أى أثر للقوى الدافعة الكهروحرارية .

• مرصدت النتائج فى الجداول من جدول (١٩) الى جدول (٤١) .
• ولخصت النتائج لقيمة المقاومة عند نقطة غليان الماء فى الجدول (٤٩) .
• وحسبت درجة حرارة غليان الماء t من المعادلة التالية :

$$t = 100 + \frac{64.500 \log_{10}(P/P_0)}{1 - 0.1979 \log_{10}(P/P_0)}$$

حيث $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ وهى الضغط الجوى العيارى

و P هى متوسط الضغط الجوى عند بداية ونهاية القراءة

أما قيمة المقاومة R_{100} (عند درجة الحرارة 100°C) فحسبت من

المعادلة التالية :

$$R_{100} = R_t + \frac{(100-t)(R_t - R_0)}{t}$$

Date : 20th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96856 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96916 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 °C

Terminal	time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	55	0.1381		
2	1	40	0.0999 ⁵	0.1381	138.17
1	2	30	0.1381	0.0999 ³	138.20
2	3	30	0.0999	0.1381	138.24
1	4	20	0.1381	0.0999 ³	138.20
2	4	55	0.0999 ⁵	0.1381	138.17
1	5	25	0.1381	0.0999 ⁵	138.17
2	6	00	0.0999 ⁵	0.1381 ³	138.20
1	6	35	0.1381 ⁵	0.0999 ³	138.25
2	7	15	0.0999	0.1381 ⁵	138.29
1	8	10	0.1381 ⁵	0.0999 ³	138.25
2	9	05	0.0999 ⁵	0.1381 ⁵	138.22
1	9	45	0.1381 ⁵	0.0999 ⁵	138.22
2	10	25	0.0999 ⁵	0.1381 ⁵	138.22
1	11	13	0.1381 ⁵	0.0999 ⁵	138.22
2	11	35	0.0999 ⁵		
Average					138.22

point
Calculated temperature t of the boiling/ of water = 98.750 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.70 Ω

Table (19)

Date : 20th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96916 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series: 96909 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant(volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	16	40	0.7207		
2	17	15	0.5211 ⁵	0.7206 ²	138.27
1	17	50	0.7205 ⁵	0.5213 ¹	138.22
2	18	20	0.5214 ⁵	0.7207 ⁵	138.22
1	18	43	0.7209	0.5214 ²	138.26
2	19	15	0.5214	0.7208 ⁷	138.26
1	19	35	0.7208 ⁵	0.5213 ⁶	138.26
2	20	10	0.5213	0.7208 ²	138.27
1	20	30	0.7208	0.5212 ⁸	138.28
2	20	55	0.5212 ⁵	0.7207 ⁷	138.28
1	21	10	0.7207 ⁵	0.5212 ³	138.28
2	21	30	0.5212	0.7207 ⁵	138.29
1	21	45	0.7207 ⁵	0.5212	138.29
2	22	00	0.5212	0.7207 ⁵	138.29
1	22	17	0.7207	0.5211 ⁶	138.30
2	22	45	0.5211	0.7207 ⁵	138.31
1	23	05	0.7207 ⁵	0.5211	138.31
2	23	38	0.5211	0.7207 ⁵	138.31
1	23	46	0.7207 ⁵	0.5210 ⁹	138.32
2	24	20	0.5210 ⁵		
Average					138.28

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.756 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.76 Ω

Table (20)

Date : 20th April, 1983 Steam-point
 Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96956 Pa
 Atmospheric pressure at the end of the series : 96929 Pa
 Potentiometer was uncalibrated
 Thermometer current : 2 mA
 Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	20	1.4333 ⁵		
2	1	00	1.0365	1.4337 ³	138.32
1	2	10	1.4340	1.0366 ²	138.33
2	4	20	1.0368 ⁵	1.4334 ⁶	138.25
1	5	10	1.4332 ⁵	1.0367	138.25
2	5	42	1.0366	1.4331 ⁴	138.25
1	6	20	1.4330	1.0365 ⁴	138.25
2	6	50	1.0365	1.4328 ⁷	138.24
1	7	30	1.4327	1.0363 ⁹	138.24
2	8	25	1.0362 ⁵	1.4325 ⁶	138.24
1	8	50	1.4325	1.0361 ⁸	138.25
2	9	20	1.0361	1.4324 ²	138.25
1	9	45	1.4323 ⁵	1.0360 ⁶	138.25
2	10	22	1.0360	1.4322 ³	138.25
1	10	45	1.4321 ⁵	1.0359 ⁵	
2	11	10	1.0359		
Average					138.26

calculated temperature t of the boiling point of water = 98.765 °C
 Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (21)

Date : 20th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96916 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96962 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	25	0.2750		
2	1	15	0.1989	0.2750	138.26
1	1	40	0.2750	0.1989	138.26
2	2	05	0.1989	0.2750	138.26
1	2	35	0.2750	0.1989	138.26
2	3	10	0.1989	0.2750	138.26
1	3	38	0.2750	0.1989	138.26
2	4	10	0.1989	0.2750	138.26
1	4	35	0.2750	0.1988 ⁷	138.28
2	4	55	0.1988 ⁵	0.2750	138.30
1	5	23	0.2750	0.1988 ⁵	138.30
2	5	45	0.1988 ⁵	0.2750	138.30
1	6	02	0.2750	0.1988 ⁵	138.30
2	6	25	0.1988 ⁵	0.2750	138.30
1	6	45	0.2750	0.1988 ⁷	138.28
2	7	15	0.1989	0.2750 ²	138.27
1	7	50	0.2750	0.1989	138.29
2	8	15	0.1989		
Average					138.28

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.764 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.76 Ω

Table (22)

Date: 20th April, 1983 Steam-point
 Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96962 Pa
 Atmospheric pressure at the end of the series : 96989 Pa
 The potentiometer was calibrated
 Thermometer current : 3 mA
 Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	time		Measured pd, (volts)	Interpolated pd, (volts)	Thermometer resistance R
	min	sec			(Ω)
1	0	05	0.4131 ⁵		
2	0	50	0.2986	0.4130 ⁹	138.34
1	1	20	0.4130 ⁵	0.2985 ⁸	138.34
2	1	52	0.2985 ⁵	0.4130 ²	138.34
1	2	15	0.4130	0.2985 ³	138.34
2	2	50	0.2985	0.4130	138.36
1	3	10	0.4130	0.2984 ⁸	138.37
2	3	40	0.2984 ⁵	0.4132	138.46
1	4	25	0.4136	0.2987	138.47
2	5	00	0.2989	0.4135 ⁸	138.37
1	5	55	0.4135 ⁵	0.2988 ⁷	138.37
2	6	20	0.2988 ⁵	0.4135 ³	138.37
1	6	50	0.4135	0.2988 ³	138.37
2	7	25	0.2988	0.4135	138.39
1	7	55	0.4135	0.2986 ⁷	138.40
2	8	20	0.2987 ⁵		
Average					138.36

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.775 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.84 Ω

Table (23)

Date : 20th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96989 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96976 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current: 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	35	1.8990 ⁵		
2	1	05	1.3721	1.8988 ⁵	138.39
1	1	35	1.8986 ⁵	1.3720 ¹	138.38
2	2	15	1.3719	1.8985 ¹	138.39
1	2	45	1.8984	1.3717 ⁴	138.39
2	3	20	1.3715 ⁵	1.8997 ¹	138.51
1	4	00	1.9012	1.3722 ⁶	138.55
2	5	10	1.3735	1.9008 ⁸	138.40
1	5	40	1.9007 ⁵	1.3734 ²	138.40
2	6	15	1.3733 ⁵	1.9006 ⁷	138.40
1	6	55	1.9005	1.3732 ²	138.40
2	7	20	1.3731 ⁵	1.9003 ⁸	138.40
1	8	00	1.9002	1.3730 ⁵	138.39
2	8	18	1.3730	1.9001 ²	138.39
1	8	45	1.9000	1.3729 ⁵	138.39
2	9	10	1.3729	1.8999 ¹	138.39
1	10	10	1.8997	1.3726 ⁹	138.39
2	10	50	1.3725 ⁵		
Average					138.39

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.777°C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.86 Ω

Table (24)

Date: 20th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96975 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96962 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	55	0.7514 ⁵		
2	1	25	0.5431	0.7515	138.38
1	2	00	0.7516	0.5432 ²	138.36
2	2	23	0.5433	0.7517 ²	138.36
1	2	40	0.7518	0.5433 ³	138.37
2	3	15	0.5434	0.7519	138.37
1	3	35	0.7519 ⁵	0.5434 ⁴	138.37
2	4	00	0.5435	0.7516 ⁴	138.30
1	4	35	0.7512	0.5431 ³	138.31
2	4	57	0.5429	0.7512 ⁴	138.38
1	5	25	0.7513	0.5429 ⁶	138.37
2	5	45	0.5430	0.7513 ⁵	138.37
1	6	05	0.7514	0.5430 ³	138.37
2	6	25	0.5430 ⁵	0.7514 ⁴	138.37
1	6	50	0.7515	0.5430 ⁸	138.38
2	7	13	0.5431	0.7515	138.37
1	7	40	0.7515	0.5431 ³	138.36
2	7	55	0.5431 ⁵	0.7515 ⁴	138.37
1	8	15	0.7516	0.5431 ⁸	138.37
2	8	35	0.5432		
Average					138.37

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.773 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.85 Ω

Table (25)

Date: 20th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96962 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96979 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 24.2 °C

Terminal	time		Measured pd. (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance
	min	sec			(Ω)
1	1	00	0.1382 ⁵		
2	1	45	0.1000	0.1382 ⁵	138.25
1	2	00	0.1382 ⁵	0.1000	138.25
2	2	30	0.1000	0.1382 ⁵	138.25
1	3	00	0.1382 ⁵	0.1000	138.25
2	3	25	0.1000	0.1383 ³	138.33
1	3	45	0.1384	0.1000	138.40
2	4	20	0.1000	0.1383 ⁶	138.36
1	4	35	0.1383 ⁵	0.1000	138.35
2	5	05	0.1000	0.1383 ⁵	138.35
1	5	30	0.1384	0.1000	138.37
2	5	50	0.1000	0.1383 ⁷	138.40
1	6	10	0.1384	0.1000	138.40
2	6	30	0.1000	0.1384	138.40
1	7	15	0.1384	0.1000	138.40
2	7	45	0.1000	0.1384	138.40
1	8	20	0.1384	0.1000	138.42
2	8	50	0.1000	0.1384 ²	138.45
1	9	30	0.1384 ⁵	0.1000	
2	9	50	0.1000		
Average					138.35

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.773 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.83 Ω

Table (26)

Date : 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96528 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series: 96520 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the ^{standard}resistance : 25.4 °C

Terminal	Time		Measured pd. (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	1	00	0.1381		
2	1	25	0.1000	0.1381	138.10
1	1	45	0.1381	0.0999 ⁷	138.14
2	2	05	0.0999 ⁵	0.1381 ³	138.20
1	2	45	0.1382	0.0999 ⁵	138.27
2	3	10	0.0999 ⁵	0.1381 ⁵	138.22
1	3	35	0.1381	0.0999 ⁵	138.17
2	4	05	0.0999 ⁵	0.1381 ¹	138.18
1	5	20	0.1381 ⁵	0.0999 ⁹	138.16
2	5	35	0.1000	0.1381 ⁵	138.15
1	5	55	0.1381 ⁵	0.1000	138.15
2	6	15	0.1000	0.1381 ⁵	138.15
1	6	35	0.1381 ⁵	0.1000	138.15
2	6	55	0.1000	0.1381 ⁵	138.15
1	7	25	0.1381 ⁵	0.1000	
2	8	00	0.1000		
Average					138.17

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.644 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.69 Ω

Table (27)

Date: 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96520 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96580 Pa

potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 25.4 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	20	0.7392 ⁵		
2	1	15	0.5348 ⁵	0.7391 ⁹	138.21
1	2	00	0.7391 ⁵	0.5348 ²	138.21
2	2	25	0.5348	0.7391 ³	138.21
1	2	50	0.7391	0.5347 ⁵	138.21
2	3	20	0.5347	0.7390 ⁵	138.22
1	3	45	0.7390	0.5346 ⁷	138.22
2	4	05	0.5346 ⁵	0.7390 ²	138.23
1	4	30	0.7390 ⁵	0.5346 ⁸	138.22
2	4	50	0.5347	0.7390 ¹	138.21
1	5	15	0.7389 ⁵	0.5346 ⁵	138.21
2	5	45	0.5346	0.7389 ²	138.22
1	6	05	0.7389	0.5346	138.22
2	6	30	0.5346	0.7388 ³	138.20
1	6	55	0.7388 ⁵	0.5345 ²	138.23
2	7	15	0.5345 ⁵		
Average					138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.652 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (28)

Date: 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96580 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96586 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 25.8 °C

Terminal	Time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	20	0.2744		
2	1	00	0.1984	0.2743 ⁵	138.28
1	1	45	0.2743	0.1983 ⁷	138.28
2	2	25	0.1983 ⁵	0.2742 ⁷	138.28
1	3	00	0.2742 ⁵	0.1983 ²	138.29
2	3	25	0.1983	0.2744 ⁵	138.40
1	4	15	0.2748 ⁵	0.1985 ⁴	138.44
2	4	50	0.1987	0.2748 ³	138.31
1	5	35	0.2748	0.1987	138.30
2	6	05	0.1987	0.2748	138.30
1	6	35	0.2748	0.1986 ⁵	138.33
2	7	05	0.1986	0.2747 ⁷	138.35
1	7	30	0.2747 ⁵	0.1986	138.34
2	8	10	0.1986	0.2747 ⁵	138.34
1	8	30	0.2747 ⁵	0.1986	138.34
2	9	00	0.1986		
Average					138.31

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.661 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.83 Ω

Table (29)

Date: 21st April, 1983 Steam-point
Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96580 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series: 96664 Pa
Potentiometer was uncalibrated
Thermometer current : 2 mA
Temperature of the standard resistance : 25.8°C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	25	1.4419 ⁵		
2	0	52	1.0434	1.4421 ⁶	138.22
1	3	05	1.4432	1.0438 ⁵	138.26
2	4	05	1.0440 ⁵	1.4430 ⁷	138.22
1	4	35	1.4430	1.0440 ²	138.22
2	4	55	1.0440	1.4429 ⁵	138.21
1	5	15	1.4429	1.0439 ³	138.22
2	5	40	1.0438 ⁵	1.4428 ⁷	138.23
1	6	00	1.4428 ⁵	1.0438 ³	138.23
2	6	20	1.0438	1.4427 ⁹	138.22
1	6	50	1.4427	1.0437 ³	138.22
2	7	15	1.0437	1.4426 ²	138.22
1	8	05	1.4424 ⁵	1.0435 ⁹	138.22
2	8	25	1.0435 ⁵	1.4424 ⁷	138.23
1	8	50	1.4425	1.0435 ²	138.23
2	9	10	1.0435		
Average					138.23

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.674 °C
Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (30)

Date: 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96664 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96656 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 25.9 °C

Terminal	Time		Measured (volts)	pd.	Interpolated (volts)	pd.	Thermomet resistance
	min	sec					(Ω)
1	0	30	0.4114 ⁵				
2	1	00	0.2975 ⁵		0.4114 ³		138.27
1	1	32	0.4114		0.2975 ²		138.28
2	1	55	0.2975		0.4117 ⁷		138.40
1	2	40	0.4125		0.2980 ⁸		138.39
2	3	05	0.2984		0.4125		138.24
1	3	30	0.4125		0.2984		138.24
2	3	50	0.2984		0.4125		138.24
1	4	10	0.4125		0.2984		138.24
2	4	30	0.2984		0.4124 ⁷		138.23
1	4	50	0.4124 ⁵		0.2984		138.22
2	5	15	0.2984		0.4124		138.21
1	5	40	0.4124		0.2983 ⁷		138.22
2	5	58	0.2983 ⁵		0.4124		138.23
1	6	15	0.4124		0.2983 ³		138.24
2	6	35	0.2983				
Average							138.24

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.684 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.75 Ω

Table (31)

Date: 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96656 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96656 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance: 26.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	22	1.8450		
2	0	55	1.3347 ⁵	1.8450	138.23
1	1	25	1.8450	1.3346 ¹	138.24
2	1	50	1.3343	1.8449 ²	138.25
1	2	12	1.8448 ⁵	1.3344 ²	138.25
2	2	55	1.3342 ⁵	1.8446	138.25
1	3	20	1.8444 ⁵	1.3341 ⁸	138.25
2	4	45	1.3339 ⁵	1.8441 ³	138.25
1	6	15	1.8438	1.3336	138.26
2	6	40	1.3335	1.8436 ⁹	138.26
1	7	00	1.8436	1.3334 ⁵	138.26
2	7	20	1.3334	1.8436 ⁵	138.27
1	7	40	1.8437	1.3333 ⁸	138.27
2	8	02	1.3333 ⁵	1.8437 ³	138.28
1	8	20	1.8437 ⁵	1.3332 ⁸	138.29
2	8	40	1.3332	1.8436 ⁶	138.29
1	8	55	1.8436	1.3331 ¹	138.29
2	9	12	1.3330		
Average					138.26

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.684 °C
 Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.77 Ω

Table (32)

Date : 26th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96822 Pa

Atmospheric pressure at the end at the series : 96822 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	Sec			
1	0	20	0.1381 ⁵		
2	1	05	0.1000	0.1381 ⁷	138.17
1	1	35	0.1382	0.1000	138.20
2	2	00	0.1000	0.1381 ⁷	138.17
1	2	15	0.1381 ⁵	0.1000	138.15
2	2	45	0.1000	0.1382 ¹	138.21
1	3	55	0.1383 ⁵	0.1000	138.35
2	4	35	0.1000	0.1383 ¹	138.31
1	6	30	0.1382	0.0999 ⁶	138.25
2	7	00	0.0999 ⁵	0.1382	138.27
1	7	55	0.1382	0.0999 ⁵	138.27
2	8	17	0.0999 ⁵	0.1382	138.27
1	8	40	0.1382	0.999 ⁵	138.27
2	9	05	0.0999 ⁵	0.1382 ³	138.30
1	9	30	0.1382 ⁵	0.0999 ⁵	138.32
2	9	50	0.0999 ⁵		
Average					138.26

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.730 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.75 Ω

Table (33)

Date: 1st May 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96420 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96480 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 26.0°C

Terminal	time		measured pd. (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	18	0.1381		
2	0	48	0.0999 ⁵	0.1381	138.17
1	1	38	0.1381	0.0999 ⁵	138.17
2	2	12	0.0999 ⁵	0.1381	138.17
1	2	35	0.1381	0.0999 ⁵	138.17
2	3	00	0.0999 ⁵	0.1380 ⁷	138.14
1	3	20	0.1380 ⁵	0.0999 ⁵	138.12
2	3	45	0.0999 ⁵	0.1380 ⁵	138.12
1	4	05	0.1380 ⁵	0.0999 ³	138.15
2	4	35	0.0999	0.1380 ⁵	138.19
1	5	00	0.1380 ⁵	0.0999	138.19
2	5	35	0.0999	0.1380 ⁵	138.19
1	5	50	0.1380 ⁵	0.0999	138.19
2	6	10	0.0999	0.1380 ⁵	138.19
1	6	30	0.1380 ⁵	0.0999	138.19
2	6	45	0.0999		
Average					138.17

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.623 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.70 Ω

Table (34)

Date: 1st May, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96480 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series: 96487 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	07	1.3848 ⁵		
2	0	45	1.0019	1.3845 ⁷	138.19
1	1	35	1.3842	1.0022 ³	138.11
2	2	15	1.0025	1.3847 ⁷	138.13
1	2	45	1.3852	1.0023 ⁴	138.20
2	3	12	1.0022	1.3850 ⁸	138.20
1	3	40	1.3849 ⁵	1.0021	138.20
2	4	10	1.0020	1.3847 ¹	138.19
1	4	30	1.3845 ⁵	1.0019 ¹	138.19
2	4	55	1.0018	1.3844 ¹	138.19
1	5	15	1.3843	1.0017	138.20
2	5	35	1.0016	1.3842	138.20
1	5	55	1.3841	1.0015 ⁵	138.20
2	6	15	1.0015	1.3840 ¹	138.20
1	6	40	1.3839	1.0014 ²	138.19
2	7	00	1.0013 ⁵		
Average					138.19

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.633 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.72 Ω

Table (35)

Date: 1st May, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96487 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96487 Pa

Potentiometer was uncalibrated.

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 26.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	10	0.6964		
2	0	35	0.5040 ⁵	0.6964 ⁷	138.17
1	1	25	0.6966	0.5040 ⁸	138.19
2	2	00	0.5041	0.6966 ³	138.19
1	2	20	0.6966 ⁵	0.5041 ⁴	138.19
2	2	45	0.5042	0.6966 ⁸	138.18
1	3	05	0.6967	0.5042	138.18
2	3	30	0.5042	0.6967	138.18
1	3	48	0.6967	0.5042	138.18
2	4	15	0.5042	0.6967 ³	138.19
1	4	40	0.6967 ⁵	0.5042 ³	138.18
2	5	00	0.5042 ⁵	0.6967 ⁵	138.18
1	5	20	0.6967 ⁵	0.5042 ⁵	138.18
2	5	40	0.5042 ⁵	0.6967 ⁸	138.18
1	6	00	0.6968	0.5042 ⁵	138.19
2	6	20	0.5042 ⁵		
Average					138.18

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.633 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.71 Ω

Table (36)

Date : 1st May, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96487 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96527 Pa

The potentiometer was calibrated.

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	time		measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	15	0.2744		
2	0	45	0.1984 ⁵	0.2743 ⁵	138.25
1	1	15	0.2743	0.1984 ⁵	138.22
2	1	35	0.1984 ⁵	0.2742 ⁸	138.21
1	2	05	0.2742 ⁵	0.1984 ²	138.22
2	2	25	0.1984	0.2742 ²	138.22
1	2	55	0.2742	0.1984	138.21
2	3	25	0.1984	0.2741 ⁷	138.19
1	3	50	0.2741 ⁵	0.1983 ⁷	138.20
2	4	15	0.1983 ⁵	0.2741 ²	138.20
1	4	35	0.2741	0.1983 ³	138.20
2	4	55	0.1983	0.2741	138.22
1	5	15	0.2741	0.1983	138.22
2	5	40	0.1983	0.2740 ⁷	138.21
1	6	00	0.2740 ⁵	0.1982 ⁸	138.21
2	6	25	0.1982 ⁵		
Average					138.21

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.639 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (37)

Date : 1st May, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96527 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96520 Pa

The Potentiometer was calibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	time		measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	12	0.4116		138.23
2	0	40	0.2977 ⁵	0.4115 ⁷	138.24
1	1	05	0.4115 ⁵	0.2977	138.25
2	1	35	0.2976 ⁵	0.4115	138.25
1	2	05	0.4114 ⁵	0.2976 ²	138.25
2	2	25	0.2976	0.4114 ³	138.25
1	2	50	0.4114	0.2975 ⁷	138.25
2	3	15	0.2975 ⁵	0.4113 ⁷	138.25
1	3	40	0.4113 ⁵	0.2975 ³	138.24
2	4	10	0.2975	0.4112 ⁷	138.23
1	4	40	0.4112	0.2974 ⁸	138.22
2	5	15	0.2974 ⁵	0.4111 ⁵	138.22
1	5	45	0.4111	0.2974 ²	138.22
2	6	15	0.2974	0.4110 ⁷	138.23
1	6	45	0.4110 ⁵	0.2973 ⁷	
2	7	15	0.2973 ⁵		
Average					138.24

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.644 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.77 Ω

Table (38)

Date: 1st May, 1983

Steam point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96520 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96553 Pa

Potentiometer was uncalibrated.

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	07	1.8117 ⁵		
2	0	25	1.3106	1.8116 ³	138.23
1	0	45	1.8115	1.3105 ⁵	138.22
2	1	05	1.3105	1.8113 ⁵	138.22
1	1	25	1.8112	1.3103 ⁷	138.22
2	1	50	1.3102	1.8110 ³	138.23
1	2	10	1.8109	1.3101 ¹	138.23
2	2	35	1.3100	1.8107 ³	138.22
1	2	55	1.8106	1.3099 ²	138.22
2	3	15	1.3098 ⁵	1.8104 ⁶	138.22
1	3	45	1.8102 ⁵	1.3097	138.22
2	4	05	1.3096	1.8101 ⁵	138.22
1	4	25	1.8100 ⁵	1.3095 ³	138.22
2	5	00	1.3094	1.8098 ³	138.22
1	5	20	1.8097	1.3092 ⁹	138.22
2	5	45	1.3091 ⁵		
Average					138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.648 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (39)

Dates: 1st May, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96553 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96553 Pa

Potentiometer was uncalibrated.

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 26.0 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant(volts)	Interpolated pd.(volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	08	0.6064 ⁵		
2	0	45	0.4390	0.6065 ⁶	138.17
1	1	30	0.6067	0.4390 ⁶	138.18
2	1	55	0.4391	0.6068	138.19
1	2	20	0.6069	0.4392 ¹	138.18
2	2	50	0.4393 ⁵	0.6069 ⁸	138.15
1	3	15	0.6070 ⁵	0.4393 ⁵	138.17
2	3	40	0.4393 ⁵	0.6071 ²	138.19
1	4	10	0.6072	0.4393 ⁸	138.19
2	4	35	0.4394	0.6072 ⁵	138.20
1	5	05	0.6073	0.4394 ³	138.20
2	5	35	0.4394 ⁵	0.6073 ⁵	138.21
1	6	00	0.6074	0.4395 ¹	138.20
2	6	20	0.4395 ⁵	0.6074 ²	138.19
1	6	45	0.6074 ⁵	0.4395 ⁸	138.19
2	7	05	0.4396		
Average					138.19

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.653 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.71 Ω

Table (40)

Date: 4th May, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96782 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96751 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 26.2 °C

Terminal	Time		Measured pd. x constant (volt)	Interpolated pd.(volt)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	55	1.5576 ⁵		
2	1	30	1.1266	1.5573	138.23
1	2	00	1.5570		

The direction of the current was reversed					
2	5	40	1.1320		
1	6	10	1.5646	1.1318 ⁷	138.23
2	6	40	1.1317 ⁵		

1	8	00	1.5648 ⁵		
2	8	25	1.1317	1.5644 ⁵	138.24
1	8	50	1.5640 ⁵		

2	10	00	1.1319 ⁵		
1	11	00	1.5640 ⁵	1.1315 ⁵	138.22
2	11	30	1.1313 ⁵		

Table (41)

Table (41) continued

Terminal	Time		Measured p.d.x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	13	15	1.5649		
2	13	50	1.1318	1.5645 ¹	138.23
1	14	15	1.5642 ⁵		
2	16	15	1.1315 ⁵		
1	16	40	1.5639	1.1314 ¹	138.23
2	17	10	1.1312 ⁵		
1	18	25	1.5626		
2	18	55	1.1302 ⁵	1.5623 ⁵	138.23
1	19	25	1.5621		
2	20	55	1.1285		
1	21	20	1.5592	1.1283 ⁹	138.18
2	22	05	1.1282		
1	23	00	1.5598		
2	23	20	1.1283	1.5596 ⁹	138.23
1	25	20	1.5590		
2	26	20	1.1284		
1	26	55	1.5595	1.1281 ⁸	138.23
2	27	25	1.1280		
1	28	15	1.5600		
2	28	50	1.1283	1.5596 ⁵	138.23
1	29	15	1.5594		
2	30	15	1.1285		
1	31	15	1.5594	1.1292 ⁹	138.21
2	32	40	1.1280		
Average					138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.714 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.72 Ω

Summary of results for resistance measurement at the steam point

Date	Table No.	Average resistance R_t at temp. (t) (Ω)	Temp. (t) $^{\circ}\text{C}$	Average of R_{100} (Ω)
20-4-83	19	138.22	98.750	138.70
	20	138.28	98.756	138.76
	21	138.26	98.765	138.74
	22	138.28	98.764	138.76
	23	138.36	98.775	138.84
	24	138.39	98.777	138.86
	25	138.37	98.773	138.85
	26	138.35	98.773	138.83
21-4-83	27	138.17	98.644	138.69
	28	138.22	98.652	138.74
	29	138.31	98.661	138.83
	30	138.23	98.674	138.74
	31	138.24	98.684	138.75
	32	138.26	98.684	138.77
26-4-83	33	138.26	98.730	138.75
1-5-83	34	138.17	98.623	138.70
	35	138.19	98.633	138.72
	36	138.18	98.633	138.71
	37	138.21	98.639	138.74
	38	138.24	98.644	138.77
	39	138.22	98.648	138.71
	40	138.19	98.653	138.71
4-5-83	41	138.22	98.714	138.72
Mean value of R_{100}				138.75
$R_{100} = 138.75 \pm 0.05 \Omega$				

Table (42)

٣-٤ تحليل النتائج

يتضح من الجداول أن متوسط قيمة المقاومة R_0 عند درجة تجمد الجليد هي $R_0 = 100.04 \pm 0.10 \Omega$ متفقة مع القيمة التي حددها المنتج

$$R_0 = 100.00 \pm 0.10 \Omega \text{ وهي}$$

$$R_{100} = 138.75 \pm 0.05 \Omega \text{ ومتوسط قيمة المقاومة عند نقطة غليان الماء}$$

وهي تقع في حدود أفضل مما حدده المنتج حيث أن $R_{100} = 138.50 \pm 0.20 \Omega$ طبقا لما أورده المنتج .

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} = 0.00387 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

والقيمة التي اعطاها المنتج للمعامل α هي

$$\alpha = 0.00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

علما بأن قيمة α بالنسبة للترموترات المصنوعة من البلاتين النقي والخالصة

من التوترات هي

$$\alpha \geq 0.0039250 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} = \frac{138.75}{100.04} = 1.387$$

$$W_{100} = 1.385$$

والقيمة التي اعطاها المنتج هي

علما بأن قيمة W_{100} بالنسبة للترموترات المصنوعة من البلاتين النقي

والخالصة من التوترات هي

$$W_{100} \geq 1.39250$$

يتضح من ذلك أن هذا الترمومتر لا يصلح لتحقيق المقياس العملي الدولي

بسبب عدم نقاء البلاتين بدرجة كافية ووجود توترات فيه . ولكنه يصلح

للاستعمال في الأغراض الصناعية كالحالات التي لا يفي فيها الازدواج الحراري

بالدقة المطلوبة .

٤-٤ ملاحظات عامة

(١) يوجد تفاوت كبير فى قيمة المقاومة R_0 عند نقطة تجمد الجليد فى حالة عدم جرش الجليد جيدا أو استخدام الجليد المصنوع من ماء امسداد المدينة .

فى بعض الحالات كانت قيمة R_0 هى $R_0 = 99.30 \Omega$ وباستخدام الجليد المجروش وفى الحالات الأخرى بلغت $R_0 = 100.30 \Omega$ وجيدا والمصنوع من ماء مقطر تكررت قيمة R_0 بصورة جيدة .

(٢) لا يوجد أى تأثير للقوى الدافعة الكهروحرارية على تعيين مقاومة الترمومتر R_{100} عند نقطة غليان الماء حيث أن R_{100} تكررت بصورة جيدة بعكس أو بدون عكس اتجاه التيار ومن باب أولى أن لا يكون لها تأثير البتة على R_0 ولكن ربما لا يظهر أثر هذه القوى الدافعة الكهروحرارية عند درجات الحرارة فى هذا المدى ولكن لا يمكن تجاهلها عند درجات الحرارة المرتفعة .

(٣) حدث ذات مرة شرح فى جهاز تحقيق نقطة غليان الماء مما أدى الى تسرب الهواء فيه وعندها بدأت تتصاعد قيمة مقاومة الترمومتر تدريجيا حيث بلغت $R_{100} = 143.26 \Omega$ عند نهاية التجربة . وهذا يوضح أهمية طرد الهواء تماما من جهاز تحقيق نقطة غليان الماء .

(٤) تطابق النتائج لقيمة المقاومة سواء فى حالة نقطة تجمد الجليد أو نقطة غليان الماء على الرغم من استخدام تيارات مختلفة بدلا لـ واضحة على أنه لا يوجد أثر لتسخين الترمومتر Joule heating بالتيارات الصغيرة التى استخدمت كما لا يوجد أثر لتسخين الترمومتر ذاتيا Self-heating عبر اسلاك التوصيل .

(٥) استخدمت مضخة صغيرة تعمل في دائرة مغلقة لضخ ماء التبريد في المكثف بغرض رفع كفاءة المكثف وعدم الاعتماد على إمداد الماء للمبنى . فالـماء يكون أحيانا مقطوعا عن المبنى وأحيانا أخرى تكون درجة حرارته مرتفعة نسبيا مما يؤدي إلى تقليل كفاءة المكثف . وكان الجليد يضاف إلى الماء في هذه الدائرة المغلقة كلما دعت الحاجة إلى ذلك .

References

المراجع الأجنبية

- 1) The Measurement of Temperature by J.A. Hall, Chapman and Hall Ltd, 11 New Fetter Lane, London E.C.4, pp 1-21.
- 2) The word Celsius was adopted by international agreement at the ninth General Conference of Weights and Measures, 1948, and should be used in place of Centigrade.
- 3) Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry by J.A. Hall, Reinhold, New York 2, 115, (1955).
- 4) Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry by H.F. Stimson, Reinhold, New York, 3 (Part 1), 59, (1962).
- 5) The International Practical Scale of Temperature 1948 (1960 revision), H.M. Stationery Office, London.
- 6) Comité Consultatif de Thermométrie, 7th session, page T 12 (1964).
- 7) The International Practical Temperature scale of 1968, Metrologia 5, 35 (1969).
- 8) Low-Temperature Platinum thermometry and Vapour Pressure of Neon and Oxygen, Thesis by J.L. Tiggelman, Leiden (1973) p. 148.
- 9) Brickwedde, F.G., Van Dijk, H., Durieux, M., Clement, J.R. and Logan, J.K., J. Res. Nat. Bur. Stds 64A, 1 (1960).
- 10) Sydoriak, S.G., Roberts, T.R., Sherman, R.H. and Brickwedde, E.F.G., Comité Consultatif de Thermométrie, 6th Session 183 (1962).
- 11) Cataland, G., Edlow, M. and Plumb, H.H., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 3 (Part 1) 129 (1962).
- 12) e.g. Kaye and Laby's Physical and Chemical Constants.

- 13) Barber, C.R., J. Sci. Instr. 27, 47 (1950).
- 14) Stimson, H.F., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 2, 158 (1955).
- 15) Barber, C.R. and Blanke, W.W., J. Sci. Instr., 38, 17 (1961).
- 16) Evans, J.P. and Burns, G.W., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 3(Part 1), 313(1962).
- 17) Barber, C.R., Progress in Cryogenics (Heywood ,London) 2, 149 (1960).
- 18) Smith, F.E., Phil Mag., 24, 541 (1912).
- 19) Its latest form has been described by Evans, J.P., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 3(part 1), 285(1962).
- 20) Hill, J.J. and Miller, A.P., Proc. Inst. Elect.Engrs., 110,453 (1963).
- 21) Stimson, H.F., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 2, 141 (1955).

المراجع العربية

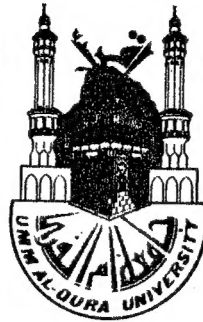
- (٢٢) عنوانه : المملكة العربية السعودية — مكة المكرمة — جامعة أم القرى ،
كلية العلوم التطبيقية والهندسية — قسم الفيزياء .
- (٢٣) د . ابراهيم ابراهيم شريف — الحرارة — ط ١٠ — دار المعارف بمصر ١٩٧٨
- (٢٤) د . ابراهيم ابراهيم شريف — الديناميكا الحرارية — دار المعارف بمصر ١٩٧٦ .
- (٢٥) د . رأفت كامل واصف — اساسيات الميكانيكا وخواص المادة والحرارة — ط ٤
دار المعارف ١٩٧٧ .
- (٢٦) عبدالنعم السيد عسري وآخرون — الحرارة — مكتبة مصر — د ٠ ت
- (٢٧) د ٠ علي عبدالجليل راضي — الحرارة — ط ٢ — مكتبة النهضة المصرية ١٩٦٤
- (٢٨) د ٠ فارس ميناو — د ٠ محمد النادى — الحرارة — ط ٤ — دار الكتاب العربى
للطباعة والنشر ١٩٦٧ .
- (٢٩) د ٠ فتحى سلطان — د ٠ نبيل عبدالحميد عيسى — الحرارة وخواص المادة
— ط ٢ — دار القلم — الكويت ١٩٧٦ .
- (٣٠) د ٠ محمد محمود عمار — محاضرات فى الفيزياء العامة ١٠١ — جامعة أم
القرى .

AL-QURA UNIVERSITY

MAKKAH ALMUKARRAMAH

FACULTY OF APPLIED
SCIENCES AND ENGINEERING

Department of Physics

جامعة أم القرى
مكة المكرمة
كلية العلوم التطبيقية والهندسية
قسم الفيزياءتستطيع أن لا تكتب اسمك
أو ما يدل على شخصيتكالرقم
التاريخ
الموافق
المشروعات

تقسيم حلقة البحث

صم هذا التصميم بفرض التعبير الحر عن شعورك وآرائك بعد أن انتهيت حلقة البحث وقد وضع أمام كل استفسار خمس درجات (٢، ١، ٠، -١، -٢) وعليك وضع علامة امام احدى هذه الدرجات التي تعتقد انها تعبر عن رأيك . فالدرجات (٢، -٢) اذا كنت تتفق تماما مع الرأي المرفق لهاتين الدرجتين . والدرجات (١، -١) اذا كنت تتفق معها الى حد ما ، أما الدرجة (٠) فهي اذا كان رأيك بين هذا وذاك . مع رجاء الشعور بالحرية المطلقة لأن هدف التقييم هو للنهوض مستقبلا بموضوع حلقة البحث التي تتفق وميول الدارسين .

١- كيف انفتحت اتجاهات حلقة البحث التي اتمتها مع ميولك العلمية ؟
متفقة (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ غير متفقة

٢- كيف كان شغفك وسلوكك اثناء العمل التجريبي في حلقة البحث ؟
كنت شغوفا جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ لم يكن لدى شغف بالمرّة .

٣- كم تعتقد أنك جعلت على معلومات قيمة اضافية من حلقة البحث ؟
كثير جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٤- كم كان اشتراكك في مجموعة مع زملائك مفيدا لك ؟

مفيد جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ غير مفيد بالمرّة

٥- الى أي مدى تعتقد انك تعودت على البحث في مجال الفيزياء ؟

كبير جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٦- هل تعتقد أن العمل في حلقة البحث اسهل أو اصعب من العمل في التجارب
العادية بالمختبرات ؟

اسهل كثيرا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ اصعب كثيرا

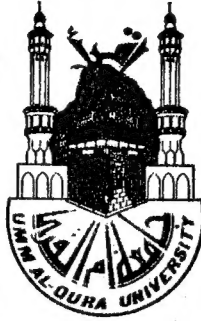
AL-QURA UNIVERSITY

MAKKAH ALMUKARRAMAH

FACULTY OF APPLIED
SCIENCES AND ENGINEERING

Department of Physics

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي

جامعة أم القرى

مكة المكرمة

كلية العلوم التطبيقية والهندسية

قسم الفيزياء

الرقم

التاريخ

الموافق

المشروعات

- ٢ -

- ٧- الى أى مدى استفدت من الكتب والمراجع والدوريات ؟
كثير جداً ٢ ، ١+ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جداً
- ٨- هل ترغب فى الخوض بصورة اعق فى مشروع حلقة البحث ؟
أرغب ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ لا أرغب
- ٩- هل تعتقد انك تمكنت من تجميع معلومات من المراجع بصورة جيدة ؟
بسهولة ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ بصعوبة
- ١٠- هل تنوى شرح بعض اوجه البحث الى زملائك بالقسم ؟
نعم ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ لا
- ١١- ما رأيك فى الاجهزة التى اتيح لك استعمالها بالقسم ؟
جيدة ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ رديئة
- ١٢- هل تعتقد أن شاربح البحث تحتاج الى خبرات متنوعة المجالات ؟
تحتاج ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ لا تحتاج
- ١٣- ما هو تقييمك لفكرة حلقة البحث من الناحية التعليمية ؟
جيدة ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ رديئة
- ١٤- هل تعتقد أن حلقة البحث غيرت شيئاً فى شخصيتك العلمية ؟
نعم ٢+ ، ١+ ، صفر ، -١ ، -٢ لا